



刘强,吕杰. 测土配方施肥何以更有效:基于门槛与调节效应的双重视角[J]. 中国农业大学学报,2026,31(01):276-289.

LIU Qiang, LYU Jie. How can soil testing and formula fertilization be more effective: A dual perspective based on threshold and moderating effects[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(01): 276-289.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.01.22

测土配方施肥何以更有效:基于门槛与调节效应的双重视角

刘强 吕杰*

(沈阳农业大学 经济管理学院, 沈阳 110866)

摘要 为探寻提升测土配方施肥效果的有效方法,基于东北三省859户玉米种植户的微观调研数据,在运用随机前沿生产函数测算农业生产效率的基础上,使用内生转换回归模型评估测土配方施肥对农业经营收入的影响及其内在机制,并利用门槛回归模型和调节效应模型构建了相应的情境条件以增进积极影响。结果表明:1)测土配方施肥对农业经营收入的促进作用在生计兼业化和土地细碎化程度较低的农户群体中表现更明显。在反事实框架下,使用测土配方施肥使农业经营收入增加7.64%~13.04%;2)对内在影响机制的分析表明,测土配方施肥的使用提升了农业生产效率,主要通过降低施肥成本的路径促进农业经营收入增加;3)种植规模在测土配方施肥对农业经营收入的影响中存在门槛效应,随着种植规模的增加,测土配方施肥对农业经营收入的促进作用递增。此外,研究发现生产性服务、高标准农田建设以及连片化经营等情境因素在测土配方施肥对农业经营收入的影响中表现为调节效应,起放大增收效果的积极作用。综上,测土配方施肥效果的变化受农户资源禀赋差异和外部情境因素的共同制约。本研究可为优化绿色技术推广环境和因地制宜实施施肥指导提供经验证据与启示。

关键词 测土配方施肥; 农业经营收入; 种植规模; 情境因素

中图分类号 F323.4

文章编号 1007-4333(2026)01-0276-14

文献标志码 A

How can soil testing and formula fertilization be more effective: A dual perspective based on threshold and moderating effects

LIU Qiang, LYU Jie*

(College of Economics and Management, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract This study analyzed the micro-level survey data from 859 corn-growing households in Northeast China to explore effective methods for enhancing the efficacy of soil testing and formula fertilization. Based on the calculation of agricultural production efficiency by using the stochastic frontier production function, the endogenous switching regression model was adopted to evaluate the impact of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income and its internal mechanism. The threshold regression model and the moderating effect model were utilized to construct the corresponding situational conditions to enhance the positive impact. The results show that: 1) The promoting effect of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income is more obvious in farmers who have a part-time livelihood and a low degree of land fragmentation. Under the counterfactual framework, the use of soil testing and formula fertilization increased the agricultural operating income by 7.64% to 13.04%. 2) The analysis of the internal influencing mechanism shows that the use of soil

收稿日期: 2025-05-08; 接受日期: 2025-09-09

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(22&ZD083); 国家自然科学基金面上项目(72373101)

第一作者: 刘强 (ORCID: 0009-0001-5119-2132), 博士研究生, E-mail: liuqiang@stu.syau.edu.cn

通讯作者: 吕杰 (ORCID: 0000-0003-0850-7271), 教授, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail: jieluesy@syau.edu.cn

testing and formula fertilization improves agricultural production efficiency, and mainly promotes the increase of agricultural operating income by reducing fertilization cost. 3) There is a threshold effect of planting scale in the impact of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income. With the increase in planting scale, the promoting effect of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income increases. Situational factors such as productive services, high-standard farmland construction and contiguous management play a moderating role in the impact of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income, which can positively amplify the effect of increasing income. In conclusion, the change in the efficacy of soil testing and formula fertilization is jointly constrained by the differences in farmers' resource endowments and external situational factors. This study can provide empirical evidence and enlightenment for optimizing the promotion environment of green technology and implementing fertilization guidance according to local conditions.

Keywords soil testing and formula fertilization; agricultural operating income; planting scale; situational factor

2025年中共中央、国务院发布的《乡村全面振兴规划(2024—2027年)》^[1]指出,要推广绿色生产技术,应鼓励测土配方施肥技术和增施有机肥。截至2019年底,为促进测土配方施肥技术的顺利推广,各级农业部门累计开展小区试验40.3万个、大田示范76.7万个,发布肥料配方31.1万个,测土配方施肥的知名度和覆盖率得到提升,但从试点区实施效果来看,测土配方施肥项目仍面临基层化验室运转困难、配方肥下地存在堵点等现实问题,导致技术推广效果欠佳^[2]。测土配方施肥能否由“测土”和“配方”转向“施肥”,既需要政府强化农技推广,也取决于农户的施肥效果。土地细碎化导致的劳动强度增加和技术采纳成本上升^[3]、农户掌握信息不完备和认知缺乏^[4-5]等被认为是测土配方施肥技术推广受阻的原因,但追根溯源,农户技术采纳带来的增收效果不佳是其难以普及的根本原因^[6]。因此,测土配方施肥技术如何更有效地融入农业生产领域,以实现农业经营增收,仍待进一步探讨。

现有关于农户测土配方施肥效果的研究主要从增收路径探索及其配套服务体系2个角度展开分析。一方面,实践层面的研究主要从农作物产量增加和质量提升、化肥减量等方面分析测土配方施肥实现增收的具体路径^[7]。在诸多制约测土配方施肥效果的因素中,土地规模变动影响作用备受关注,对其作用的想法还尚未一致。例如:大规模农户凭借土地资源方面的规模优势,能够有效分摊单位面积土壤检测成本、农业机械的购置和使用成本,从而得到更大的收入改善^[8-9];以兼业为主的小规模农户为了满足自身安全粮食的需要,倾向于通过生产绿色有机农产品获取溢价空间,实现收入赶超^[10-11]。由此可见,测土配方施肥收入效应的变化受到土地

规模变动的影 响,而研究视角的不同以及门槛效应的考虑不足可能引致研究结果的分歧。另一方面,基层农技服务体系建设的停滞是测土配方施肥“叫好不叫座”的重要成因,理论层面的研究侧重于构建一套能够确保测土配方施肥实现减施增效的配套服务体系^[7]。当前施肥服务需要规模供给或依托于新型农机作业的技术供给,而生产性服务所能提供的测土配方施肥供给缺乏,成为其实现农业经营增收的掣肘,大部分农户并不了解当地配肥厂按照测土方案配制的各种专用肥^[12]。受制于地形阻断效应、基础设施限制等因素,已有研究强调通过高标准农田建设改善田间作业环境,依托地块平整、田间道路建设和宜机化改造等措施发挥绿色生产效果,通过“小田并大田”的土地治理措施降低土地的细碎化和分散化程度,从而不仅有利于增加耕地面积、提高耕地质量,更为土地的集中连片化经营和机械化作业创造了有利条件,带动农业生产环境的改善^[13]。可见,准确识别测土配方施肥应用的外在情境是判断该技术扩散缓慢的关键,而实证研究的不足可能导致理论解释的无力感。

总体上,现有研究在测土配方施肥的增收路径、影响因素等方面取得一定进展,但在技术的主要受益群体、关键作用环境等方面尚存在深入空间。因此,为探寻情境因素在测土配方施肥推广中的重要作用以及测土配方施肥模式的增收效果,本研究拟以东北三省的测土配方施肥农户为研究对象,设置未使用测土配方施肥的农户作为对照,采用内生转换回归模型构建反事实框架,评估玉米种植户选择测土配方施肥的平均处理效应,并探究种植规模在其中发挥的门槛作用以及生产性服务、高标准农田建设和连片化经营等情境因素的调节作

用,以期为顺利推广测土配方施肥技术和稳定增加农业经营收入提供坚实保障。

1 理论分析与研究假说

1.1 测土配方施肥与农业经营收入

传统施肥模式通常依赖经验判断,无法根据不同地力水平正确控制施肥量,导致化肥投入不足或过量,不仅影响植株的生长发育,降低作物产量,还会导致土壤的理化性质变差,制约农业生产的可持续发展。作为科学施肥技术的典型代表,测土配方施肥能够根据作物的需肥规律、土壤的供肥特性以及肥料的理化作用,科学制定施肥计划,从而很好地满足作物生长的基本需求,提高肥料利用效率、促进施肥结构的合理化。一方面,由于肥料利用水平的提高,测土配方施肥有助于减少农业生产的成本支出,提高化肥利用率,降低过量施肥和无效施肥的概率,节约农业生产过程中的成本投入^[14-15]。基于养分平衡原理进行测土配方施肥能够很好地匹配作物的需求和土壤的供肥特性,通过有效调控氮素营养以均衡土壤养分,为作物的生长发育提供充足养分^[16]。田间试验观测也证实了其控制化肥施用量和减少施肥成本的积极作用^[17]。

另一方面,测土配方施肥有利于增加农作物产量和改善农产品质量,从而增加农业经营收入。在已有各种农业要素投入的前提下,测土配方施肥可以增强玉米生长中后期的叶片酶活性和光温生理特性,进一步促进叶绿素累积和植株生长,使其在化肥减量30%的条件下仍能有效提升玉米产量^[18]。由于测土配方施肥有助于降低农业要素投入成本,减少不合理施肥导致的资源浪费,进而增加作物产量,实现农业要素利用方式更趋合理和生产效率的提高,最终增加农业经营收入。据此,提出研究假说:

H1:测土配方施肥通过提高农业生产效率的方式增加农业经营收入。

1.2 种植规模的门槛作用

一项农业技术的收益获取,不仅取决于技术本身的属性特征,还深受农户资源禀赋的影响,如种植规模、劳动力人数、机械设备等的差异会直接影响测土配方施肥所发挥的效果。测土配方施肥等绿色技术的采纳需要一定规模的耕地相配套,种植大户的规模优势有助于更好地分摊农业生产资料

和新兴农业技术的固定成本,进而降低绿色技术转型的单位成本,实现对土地、资金、劳动力等生产要素的优化配置,从而达到降低成本并提高作业效率的目的^[19]。调查发现,33.3 hm²以上的种植大户倾向于聘请专业的技术人员帮助自己进行田间管理,并通过使用针对当地土壤定制的配方肥来获取更高的经济效益^[20]。由于测土配方施肥的整体性较强,受到地块与使用规模的限制,小规模农户通常无法单独使用,即使使用也面临较高的单位固定成本。当种植规模低于特定值时,测土配方施肥的学习成本投入和管理复杂性,与小农户的耕地面积及其他生产资料的配置规模存在结构性失衡,边际成本的上升削弱了测土配方施肥技术的投入产出效率,导致技术采纳难以转化为显著的经济收益。据此,提出研究假说:

H2:测土配方施肥对农业经营收入的影响存在种植规模门槛。

1.3 情境因素的调节作用

测土配方施肥涉及测土、配方配肥、供应和施肥指导等多个技术环节,这就需要肥料生产和销售商、生产性服务商等专业技术人员加入到粮食种植过程中,保证技术实施的科学性和精准性。并且要使得测土配方施肥的增收效果更好,施肥田块的土壤性质要尽量保持一致且集中连片,从而避免土地细碎化导致的规模不经济与技术的边际应用成本激增等问题。因此,将生产性服务、高标准农田建设和连片化经营视为测土配方施肥与农业经营增收之间关系的情境因素,明确测土配方施肥能够发挥优势所隐含的重要前置条件。

一是生产性服务。生产性服务除了满足农户耕、种、管、收等环节服务需求,还能以服务卷入的方式将人才、信息、绿色先进技术导入到农业生产领域,通过要素补充、替代、整合等方式改变农业生产投入结构,加快粮食生产的专业化、标准化和集约化,从而有效提升农业经营收入^[21]。生产性服务不仅可以带动有绿色生产意愿但无能力的农户从事绿色生产,也可以向无绿色生产意愿但需要生产性服务的农户导入绿色生产要素,从而有利于测土配方施肥等绿色技术的推广应用^[22]。特别是施肥等田间管理环节更易受到生产性服务增产效应的影响,通过减轻劳动力在各类措施中的高强度作业,并对化肥等物质要素实现高效配置与精准投

入,规避农业投入的低效、高耗问题,保证农业经营收入稳定。因此,测土配方施肥对农业经营收入的作用会受到生产性服务供给的影响。

二是高标准农田建设。高标准农田旨在建成土地平整、设施配套、土壤肥沃、生态良好、抗灾能力强以及与现代农业生产和经营方式相适应的耕地。作为土地整治的重点实施领域,高标准农田建设通过土地平整、农田水利设施建设等措施,有效改善农业生产条件的同时又提高了耕地的粮食产出能力,从而打破传统施肥路径制约,提升测土配方施肥农田的增产、增收潜力。与此同时,土壤培育改良措施降低了土壤压实程度,提高土壤保水保肥能力和有机质含量,有助于测土配方施肥更好地提高土壤肥力,而田间道路和水利设施的改善为机械施肥作业和排水灌溉创造了有利条件,缓解了制约肥力发挥的关键障碍,有助于测土配方施肥发挥耕地质量提升与农业生产率提高的双重作用,更好地促进农业经营增收^[23]。

三是连片化经营。测土配方施肥的使用依赖于专业技术人员的现场采样与考察,小规模、细碎化的农地经营模式不仅增加测土环节的时间和经济成本,还导致不同地块之间配方肥的使用呈现异质性,降低施肥环节机械的工作效率^[24]。而连片化经营不仅有利于专业技术人员的采样,降低单位面积的土壤检测成本,也能够方便农户机械化施肥操作,由此实现肥料施用的科学化和标准化。由于相邻地块具备相似的土壤质地和肥力,集中统一耕种还有助于缩减施肥机械的运行损耗和田间管理的监督成本,在一定程度上集中优势生产资料和技术进行规模化种植与集约化生产,促使肥料等生产要素得到更加优化的配置,推动农业经营收入的进一步增加^[25]。据此,提出研究假说:

H3:生产性服务、高标准农田建设和连片化经营在测土配方施肥影响农业经营收入中起正向调节作用。

2 数据来源、变量选取与实证策略

2.1 数据来源

本研究所用数据来自作者所在团队2023年7—9月在东北辽宁、吉林、黑龙江三省组织的农业生产调研。调研分两阶段展开,先通过预调研完善问卷,再采用分层抽样和随机抽样相结合的方法进行

正式调研。综合考虑省内地理位置、玉米种植习惯和农业生产条件选取辽宁省鞍山市、阜新市、沈阳市和铁岭市,吉林省辽源市、四平市和长春市以及黑龙江省哈尔滨市、佳木斯市和牡丹江市,共计10个地级市;根据农业经营形态差异选取23个县,从每个县随机选取2~3个乡镇;根据玉米种植户种植规模,在每个自然村抽取20名有经验的农户作为调查对象。所有数据由事先经过培训的农科类专业研究生通过一对一访谈的方式进行收集,使用标准化问卷记录受访者的个人特征、化肥施用情况及家庭经营绩效等,确保数据收集的一致性和可靠性。剔除信息不完整、访谈对象不认真的问卷,整理获得有效问卷859份,其中使用测土配方施肥的农户有79户。东北地区是我国最大的商品粮生产基地,玉米播种面积和产量均占全国的30%以上,东北黑土地也是我国耕地保护和质量提升的重点区域,对该地区玉米种植测土配方施肥行为研究对于确保我国粮食安全具有重要的理论意义和现实意义。

2.2 变量选取

本研究选取的主要变量如下:

1)被解释变量。农业经营收入,采用农作物产量和平均销售单价的乘积表示农户获得的农业经营收入。

2)核心解释变量。测土配方施肥,若农户在农业生产经营中选择测土配方施肥,赋值为1,否则为0。

3)中介变量。农业生产效率,以C-D生产函数为基础,利用随机前沿生产函数法计算样本农户的技术效率表征。其中,产出指标为亩均粮食产量,投入指标主要是亩均化肥施用量、劳动力投入工时和其他中间投入要素(如农药、种子、灌溉)。

4)门槛和调节变量。门槛变量为种植规模,以2022年玉米实际种植面积表示。测土配方施肥是一项精准施肥技术,其增收效应在一定程度上依赖于各种外部条件的改善,故选取生产性服务、高标准农田建设和连片化经营作为调节变量。生产性服务可以充当人力资本和知识的传输器,以较低的成本将测土配方施肥等绿色服务产品导入至农业生产中,通过更全面的服务渗透解决小农户不愿用、用不好绿色生产技术的问题^[26]。因此,采用雇佣人力和机械的费用占农业生产总成本的比值作

为生产性服务的代理变量。高标准农田建设是国家推进农业现代化发展的主要方式,通过现代化的管理和技术支持进一步挖掘低产农田的生产潜力,确保测土配方施肥的增产增收效果得到充分发挥。因此,若受访者的承包地进行了高标准农田建设,则该变量取值为1,否则为0。同时,由于测土配方施肥需要专业人员实施实地采样和分析,非连片分布的土地将显著增加采样工作的复杂性和成本,对测土配方施肥的增收效果造成不利影响。因此,以相邻地块是否种植玉米作为连片化经营的代理指标,以验证其有助于改进测土配方施肥增收效果的猜想。

5)控制变量。农户测土配方施肥行为会受到多个因素的综合影响。借鉴彭斯和陈玉萍^[11]、陆泉志

和张益丰^[7]的研究,选取性别、年龄、受教育程度、自评健康等4个变量作为农户个体特征;选取灌溉程度、土地流转、作物种类等3个变量作为家庭经营特征;选取交通便利度、农业培训、自然灾害等3个变量作为生产环境特征。借鉴田路等^[27]的研究,选取“农户对测土配方施肥的有效性认知”作为识别变量。原因在于,绿色技术服务供给和农户主观判断的影响较大,有效性认知与农户测土配方施肥行为选择密切相关,满足相关性要求;有效性认知制约着农户的技术采纳,除了会通过影响测土配方施肥行为选择进而影响农业经营收入外,不会通过其他途径对其产生直接影响,满足排他性要求。此外,由于样本地区相距较远,将区域特征加以控制。变量的具体定义及样本描述性统计结果见表1。

表1 变量定义及样本描述性统计
Table 1 Variable definitions and descriptive statistics of the sample

变量 Variable	定义与赋值 Definition and assignment	平均值 Mean	标准差 SD
农业经营收入 Agricultural operative income	玉米产量与平均销售单价的乘积,元,后取对数	10.827	1.259
测土配方施肥 Soil testing and formula fertilization	是=1,否=0	0.092	0.289
农业生产效率 Agricultural production efficiency	由随机前沿函数法估算得到	0.638	0.124
种植规模 Planting scale	玉米实际种植面积, hm ²	6.090	16.364
生产性服务 Productive service	雇佣人力和机械的费用与总成本之比, %	0.346	0.308
高标准农田建设 High-standard farmland construction	是=1,否=0	0.251	0.434
连片化经营 Contiguous management	是=1,否=0	0.638	0.481
性别 Gender	男性=1,女性=0	0.644	0.479
年龄 Age	实际年龄,岁	56.136	10.314
受教育程度 Educational attainment	受教育年限,年	7.891	2.877
自评健康 Self-rated health	非常不健康~非常健康=1~5	4.037	1.036
灌溉程度 Irrigation scale	灌溉面积与种植面积之比, %	0.107	0.282
土地流转 Land transfer	是=1,否=0	0.377	0.485
作物种类 Crop types	种植作物种类数,种	1.315	0.585
交通便利度 Convenience of transportation	非常差~非常好=1~5	3.730	1.046
农业培训 Agricultural training	近五年参加农业生产技术培训数,次	0.974	2.387
自然灾害 Natural disasters	有=1,没有=0	0.832	0.374
有效性认知 Effectiveness cognition	认为测土配方施肥作用很大=1,很小=0	0.461	0.498

2.3 实证策略

借助内生转换回归模型,运用反事实框架估计农户在不同状态下的农业经营收入差异,尽量保证因果效应识别的可靠性。其建模过程分为以下

阶段:

第一阶段,将农户分为处理组(测土配方施肥)和对照组(未测土配方施肥),构建农户测土配方肥施用决策模型如下:

$$D_i^* = \varphi X_i + \phi V_i + \mu_i, D_i^* \begin{cases} 1, D_i^* > 0 \\ 0, D_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: D_i^* 为农户选择测土配方施肥的不可观测变量, 接受处理组 D_i 值为 1, 否则为 0; X_i 为影响农户测土配方施肥的外生解释变量; V_i 为识别变量, 其与农户的测土配方施肥行为具有较大相关性, 却不会对农业经营收入产生直接影响; φ 、 ϕ 为待估计系数; μ_i 为随机扰动项。

第二阶段, 根据实际观测到的农户测土配方施肥决策结果, 构建不同状态下的农业经营收入模型如下:

$$Y_i = \begin{cases} Y_{1i} = \beta_1 X_{1i} + \sigma_{1i} \lambda_{1i} + \epsilon_{1i}, D_i = 1 \\ Y_{0i} = \beta_0 X_{0i} + \sigma_{0i} \lambda_{0i} + \epsilon_{0i}, D_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: Y_{1i} 和 Y_{0i} 分别为观测到的测土配方施肥和未测土配方施肥农户的农业经营收入; X_{1i} 和 X_{0i} 分别为 2 种状态下影响农业经营收入的因素向量; β_1 和 β_0 为待估计参数; ϵ_{1i} 和 ϵ_{0i} 为随机扰动项; 为解决由不可观测因素导致的样本选择偏误问题, 在农业经营收入模型中分别引入逆米尔斯比率 λ_{1i} 、 λ_{0i} 以及误差项之间的相关系数 σ_{1i} 、 σ_{0i} , 并运用完全信息似然法联立选择方程和结果方程进行估计, 从而得到一致的估计量。

第三阶段, 运用反事实框架比较 2 种情境下农业经营收入的条件期望, 得到测土配方施肥对农业经营收入的平均处理效应, 其具体过程如下:

测土配方施肥(处理组)农户的农业经营收入为:

$$E[Y_{1i}|D_i=1] = \beta_1 X_{1i} + \sigma_{1i} \lambda_{1i} \quad (3)$$

未测土配方施肥(对照组)农户的农业经营收入为:

$$E[Y_{0i}|D_i=0] = \beta_0 X_{0i} + \sigma_{0i} \lambda_{0i} \quad (4)$$

考虑 2 种反事实情境, 即已测土配方施肥农户在未测土配方施肥假定下的农业经营收入为:

$$E[Y_{0i}|D_i=1] = \beta_0 X_{1i} + \sigma_{0i} \lambda_{1i} \quad (5)$$

未测土配方施肥农户在测土配方施肥假定下的农业经营收入为:

$$E[Y_{1i}|D_i=0] = \beta_1 X_{0i} + \sigma_{1i} \lambda_{0i} \quad (6)$$

比较式(3)与式(5), 得到处理组农户测土配方施肥对其农业经营收入的处理效应(ATT)为:

$$ATT = E[Y_{1i}|D_i=1] - E[Y_{0i}|D_i=1] = (\beta_1 - \beta_0) X_{1i} + (\sigma_{1i} - \sigma_{0i}) \lambda_{1i} \quad (7)$$

类似地, 得到控制组农户测土配方施肥对其农业经营收入的处理效应(ATU)为:

$$ATU = E[Y_{1i}|D_i=0] - E[Y_{0i}|D_i=0] = (\beta_1 - \beta_0) X_{0i} + (\sigma_{1i} - \sigma_{0i}) \lambda_{0i} \quad (8)$$

3 实证结果与分析

3.1 样本基本情况

样本农户的基本情况如表 2 所示。可见共有 859 个种植业农户样本。其中, 普通农户 566 个, 家庭农场/专业大户 293 个。从测土配方施肥采纳情况来看, 农户选择测土配方施肥的比率仅为 9.20%, 其中普通农户 33 个, 家庭农场/专业大户 46 个(表 2)。总体而言, 农户对测土配方施肥的采纳比例并不高, 且主要集中在家庭农场/专业大户群体中。无测土配方施肥服务是农户未采纳测土配方施肥的首要原因, 其余依次是不知晓测土配方施肥、担心存在减产风险、采纳成本过高, 说明在基层农技推广资源匮乏的情况下, 依然有部分农户不了解测土配方施肥的良好效益, 更没有机会使用测土配方施肥, 从而存在客观的信息和技术阻碍。

样本农户的种植规模和农业经营收入分布情况见表 2。可见: 样本农户的耕地面积呈现橄榄形分布特征, 中等规模农户占半数以上, 小规模和大规模农户相对较少; 普通农户的种植规模大多集中在 3.3 hm² 以下, 1.0~3.3 hm² 农户占 61.48%, 1 hm² 以下农户占 24.03%; 家庭农场/专业大户的种植规模 > 3.3 hm² 占该群体的 63.14%, 说明家庭农场/专业大户的种植规模远大于普通农户, 是测土配方施肥的主要应用主体。此外, 农业经营收入方面的分布特征与种植规模相似, 农业经营收入在 5 万~20 万元内的农户占比超过 4 成, < 2 万元的农户相对较少。其中: 普通农户的农业经营收入大多为 2 万~5 万元、5 万~20 万元, 分别占该群体总量的 31.80% 和 46.64%; 家庭农场/专业大户的农业经营收入范围大多超过 20 万元, 占该群体总量的 44.03%, 说明具有较高测土配方施肥采纳率的家庭农场/专业大户的农业经营收入普遍更高, 且二者的种植规模存在明显差异。测土配方施肥通常在较大规模地块才能体现出经济性和高效性, 而小规模、分散化的测土配方需求难以触及规模经济效应, 因而该技术在小农经营条件下的实际落地效果欠佳。

表2 样本农户测土配方施肥、种植规模和农业经营收入的基本情况

Table 2 Basic information of soil testing and formula fertilization, planting scale and agricultural operative income of sample farmers

变量 Variable	选项 Option	全样本 Overall sample		普通农户 Ordinary farmer		家庭农场/专业大户 Family farm/ Professional farmer	
		样本量/个 Sample size	比例/% Ratio	样本量/个 Sample size	比例/% Ratio	样本量/个 Sample size	比例/% Ratio
测土配方施肥情况 Situation of soil testing and formula fertilization	施用	79	9.20	33	5.83	46	15.70
	未施用	780	90.80	566	94.17	247	84.30
种植规模分布 Distribution of planting scale	<1.0 hm ²	155	18.04	136	24.03	19	6.48
	1.0~3.3 hm ²	437	50.87	348	61.48	89	30.38
	>3.3 hm ²	267	31.08	82	14.49	185	63.14
农业经营收入分布 Distribution of agricultural operative income	<2 万元	78	9.08	71	12.54	7	2.39
	2 万~5 万元	224	26.08	180	31.80	44	15.02
	5 万~20 万元	377	43.89	264	46.64	113	38.57
	>20 万元	180	20.95	51	9.01	129	44.03

3.2 处理效应测算及异质性分析

3.2.1 测土配方施肥决策的处理效应测算

采用内生转换回归模型构建反事实框架,通过比较真实情境下施用测土配方肥和反事实情境下施用测土配方肥在农业经营收入上的差异,得到测土配方施肥对农业经营收入的平均处理效应,结果见表3。可见:测土配方施肥对样本农户的农业经营收入具有显著的促进作用。其中,处理组农户若不再施用测土配方肥,其农业经营收

入将下降13.04%;对照组农户在改施测土配方肥后,其农业经营收入将上升7.64%,说明处理组农户的增收效果优于对照组农户。可能是由于土壤养分不足、地形不易灌溉、生产性服务供给缺乏等农业生产环境的制约,大多数农户还无法通过增加的农业经营收入弥补额外的施用成本,从而抑制了对照组农户的增收效应。因此,测土配方施肥可以使农户的农业经营收入增加7.64%~13.04%。

表3 测土配方施肥对农业经营收入的处理效应测算

Table 3 Calculation of the treatment effect of soil testing formula fertilization by soil testing on agricultural operative income

组别 Group	施用 Applied	未施用 Unapplied	处理效应 Treatment effect
处理组 Treatment group	11.300(0.061)	9.826(0.048)	1.474*** (0.078)
对照组 Control group	11.541(0.019)	10.772(0.014)	0.769*** (0.024)
全样本 Overall sample	11.519(0.018)	10.685(0.013)	0.834*** (0.022)

注:*, **, ***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著性。括号内为稳健标准误。下同。
Note: *, **, and *** indicate significances at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively. Robust standard errors are in parentheses. The same below.

3.2.2 基于兼业化和土地细碎化的异质性分析

为体现测土配方施肥对不同家庭经营方式、地块特征的异质性影响,从农户兼业化程度和土地细

碎化程度两方面展开异质性分析。

本研究基于家庭非农就业人数的不同,结合农户生计方式的差异,将其分为兼业程度高、中、低

3 组,分别进行回归分析,结果见表 4。可见:测土配方施肥对高兼业组农户的农业经营收入起到显著的负向影响,而对中、低兼业组农户的农业经营收入起到显著的正向影响。这表明随着兼业化程度的加深,测土配方施肥对农户的增收效果表现出下降趋势。可能的原因是,兼业家庭收入主要来源于务工,对农业生产的重视程度相对较低,选择测土配方施肥的意愿自然不强,进而导致农业的粗放经营,生产效率逐渐下降,测土配方施肥带来的增收效果减弱。因此,兼业化对测土配方施肥增收效果的发挥带来了不利影响。

本研究根据问卷提示“承包耕地总面积”和“承

包耕地数量”计算得到单位面积地块数量,利用三分位数将样本分为细碎化程度高、中和低 3 组,分类讨论结果见表 4。可见:当土地细碎化程度较高时,测土配方施肥对农业经营收入产生了显著的负向影响,且随着土地的细碎化问题得到缓解,测土配方施肥的增收效应相应提高。可能的原因是,耕地细碎化带来的劳动力短缺、机械作业受限等问题会增加地块转场次数,导致地块细碎的农户施肥耗费的工时和精力更多,测土环节的劳动强度和时间成本更大^[28],从而抑制了测土配方施肥增收效果的发挥。因此,土地细碎化是制约测土配方施肥效果的重要因素之一。

表 4 基于不同兼业化程度和土地细碎化程度的异质性分析结果

Table 4 Heterogeneity analysis results based on different degrees of part-time employment and land fragmentation

变量 Variable	类别 Category	观测值 Observations	施用 Applied	未施用 Unapplied	处理效应 Treatment effect
兼业化程度 Degree of part-time employment	高	186	8.428(0.149)	10.437(0.050)	-2.008*** (0.058)
	中	273	11.034(0.123)	10.518(0.019)	0.516*** (0.125)
	低	400	11.637(0.028)	10.802(0.015)	0.835*** (0.032)
土地细碎化程度 Degree of land fragmentation	高	278	9.488(0.046)	11.377(0.078)	-1.890*** (0.090)
	中	291	11.560(0.036)	10.765(0.020)	0.795*** (0.041)
	低	290	13.640(0.063)	10.808(0.020)	2.832*** (0.066)

注:兼业化程度高、中和低分别代表家庭非农就业人数占比>0.6、0.3~0.6和<0.3的估计结果。土地细碎化程度高、中和低分别代表每hm²地块数量>7.5、4.3~7.5和<4.3的估计结果。

Note: High, medium and low degrees of part-time employment respectively represent the estimated results of the proportion of non-agricultural employment in households>0.6, 0.3-0.6 and<0.3. High, medium and low degrees of land fragmentation respectively represent the estimated results of the number of plots per hm²>7.5, 4.3-7.5 and<4.3.

3.3 稳健性检验及内生性处理

3.3.1 基于倾向得分匹配法的稳健性检验

为降低样本选择、变量遗漏和测量误差带来的估计偏误,本研究采用倾向得分匹配法再次进行反事实构造,得到测土配方施肥对农业经营收入的处理效应,

结果见表 5。出于稳健性考虑,本研究选择近邻匹配、半径匹配和核匹配 3 种方式进行计算。变量的标准偏差在匹配后缩小,表明倾向得分偏差得到修正。由表 5 可见不同方法得到的处理效应值略有差异,但都得到了较为一致的结论:测土配方施肥增加了农业经营收入。

表 5 倾向得分匹配模型对测土配方施肥收入效应的估计结果

Table 5 Estimation results of the propensity score matching model on the income effect of soil testing and formula fertilization

匹配方法 Matching method	处理组 Processing group	对照组 Control group	差分 Difference	标准差 SD	T 值 T value
近邻匹配 Neighbor matching	11.277	10.801	0.476	0.162	2.95
半径匹配 Radius matching	11.277	10.768	0.509	0.143	3.56
核匹配 Kernel matching	11.277	10.780	0.497	0.143	3.48

3.3.2 基于工具变量法的内生性检验

考虑到若农户具有较高的农业经营收入和专

业化程度,他们可能更有动力和能力选用测土配方施肥,故采用工具变量法弱化这一反向因果问题,

估计结果见表6。可见:在第一阶段中,工具变量的回归系数显著为正,表明有效性认知可以有效促进农户对测土配方施肥的选择。同时,不可识别检验 Kleibergen-Paap rk LM 统计量的结果显著,弱工具变量检验 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量的

结果>16.38,说明工具变量具有较强的解释力和相关性。由表6第二阶段的回归结果可见,在充分考虑内生性问题后,测土配方施肥对农业经营收入的影响依旧显著。因此,本研究的核心结论具有稳健性。

表6 基于工具变量法的内生性检验结果
Table 6 Endogeneity test results based on the instrumental variables method

变量 Variable	第一阶段 First stage	第二阶段 Second stage
有效性认知 Effectiveness cognition	0.135*** (0.021)	
测土配方施肥 Soil testing and formula fertilization		1.349** (0.550)
控制变量 Control variable	已控制	已控制
不可识别检验 Under identification test		41.963*** [0.000]
弱工具变量检验 Weak identification test		43.64 { 16.38 }
常数项 Constant term	-0.000 (0.096)	10.051*** (0.343)
观测值 Observations	859	859
R ²		0.588

3.4 农业生产效率的作用机制检验

为进一步缓解机制变量与测土配方施肥之间的内生性问题,采用工具变量回归的方式进行机制检验,结果见表7。可见:在工具变量符合要求的基础上,农业生产效率和测土配方施肥系数均显著,表明农业生产效率在测土配方施肥对农业经营收入的影响中发挥中介作用,假说1得证。原因在于,测土配方施肥可以根据土壤中的养分含量和作物需肥规律合理配置

氮肥施用比例,提高化肥施用效率、促进施肥结构的合理化,减少肥料浪费和劳动投入强度,并在一定程度上增加农作物产量,从而提高农业生产效率,达到节本增产。为检验测土配方施肥提高农业生产效率的主要原因,将投入侧的施肥成本和产出侧的亩均产量作为被解释变量进行回归。由表7可知,测土配方施肥主要是降低了施肥成本,而对亩均产量的提升作用仍有待进一步提高。

表7 测土配方施肥影响农业经营收入的作用机制检验结果
Table 7 Action mechanism test results of soil testing and formula fertilization on agricultural operating income

变量 Variable	农业生产效率 Agricultural production efficiency	农业经营收入 Agricultural operative income	施肥成本 Fertilization cost	亩均产量 Yield per mu
测土配方施肥 Soil testing and formula fertilization	0.204*** (0.071)	0.366** (0.150)	-0.828*** (0.298)	0.024 (0.039)
农业生产效率 Agricultural production efficiency		0.693*** (0.077)		
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant term	0.473** (0.191)	9.744*** (0.326)	4.457*** (0.698)	7.121*** (0.146)
观测值 Observations	859	859	859	859
R ²	0.580	0.765	0.454	0.861

注:1亩=0.0667 hm²。
Note: 1 mu=0.0667 hm².

3.5 进一步分析：测土配方施肥何以更有效

3.5.1 种植规模的门槛效应

为了验证潜在的门槛效应,将种植规模作为门槛变量,测土配方施肥作为核心解释变量,通过自举法迭代 500 次对门槛效应的显著性进行检验,结

果见表 8。可见:双重门槛显著,三重门槛不显著,表明测土配方施肥对农业经营收入的影响存在 2 个种植规模门槛,门槛值分别为 2.87 和 7.00 hm^2 。因此,种植规模在测土配方施肥对农业经营收入的影响中发挥了门槛效应,假说 2 得证。

表 8 种植规模的门槛效应检验结果

Table 8 Threshold effect test results of planting scale

门槛数 Threshold number	门槛估计值 Threshold estimate	LM 检验 LM test	P 值 P value	95% 置信区间 95% confidence interval
单一门槛 Single threshold	2.87	203.588	0.000	[2.67, 2.93]
双重门槛 Double threshold	7.00	76.723	0.000	[5.00, 7.27]
三重门槛 Triple threshold	10.67	20.189	0.140	[8.00, 12.00]

为深入研究测土配方施肥对农业经营收入的非线性影响,利用门槛回归模型分析不同种植规模区间内测土配方施肥对农业经营收入的作用效果差异,结果见表 9。可见:种植规模在 $(0, 2.87]$, $(2.87, 7.00]$, $(7.00, +\infty)$ 共 3 个区间内,测土配方施肥对农业经营收入均具有显著正向影响,且随着种植规模的增加,上述影响效果增强,表明测土配方施肥在提升农业经营收入方面,展现出边际效应递增规律。原因在于,根据农业生产方式适应农地经营规模的原则,农户会在一定的规模范围内对自主生产和委托经营做出合理选择,双重门槛的出现意味着种植规模在测土配方施肥增收过程中存在 2 个结构性转变点,小农户倾向于自主生产,而中等和大规模的农户倾向于委托生产或自购农机型自主生产^[29]。当种植规模位于第一区间时,农户主要从事兼业化经营,基础设施薄弱、技术储备有限等因素制约了测土配方施肥要素配置优化效应的发挥,仅能通过绿色技术采纳实现农业经营收入的小幅度增加;而当种植规模跨越第一门槛值后,农户开始由兼业经营向专业经营转型,由自主生产转向委托服务生产,低价技术装备和专业化知识的引入能够有效弥补农户面对的技术采纳约束,因此测土配方施肥对农业经营收入的提升作用有所提高;随着种植规模的进一步扩大,委托服务生产的成本优势逐渐降低,农户逐步进入组织化发展阶段,其收入来源更大比重来源于农业,促使农户更有能力和动机通过农业生产投资采用测土配方施肥,农业生产的规模经营与技术创新的协调效应得到充分发

挥,从而进一步强化其对农业经营收入的提升作用。因此,随着种植规模的增加,测土配方施肥对农业经营收入的影响相应提升。

表 9 基于不同种植规模区间的门槛回归结果

Table 9 Threshold regression results based on different planting scale intervals

区间 Interval	系数 Coefficient
$(0, 2.87]$	0.405*** (0.154)
$(2.87, 7.00]$	0.497*** (0.155)
$(7.00, +\infty)$	0.806*** (0.347)

3.5.2 情境因素的调节效应

为进一步探究测土配方施肥对农业经营收入产生积极效应的边界条件,依次纳入生产性服务、高标准农田建设、连片化经营 3 个变量来分析情境因素在此阶段发挥的调节效应,结果见表 10。由模型 1 可知,生产性服务在测土配方施肥影响农业经营收入过程中的调节效应成立。原因在于,农户可以借助生产性服务这类外部资源弥补自身采纳绿色生产技术的禀赋不足,通过迂回投资方式节省购买绿色生产技术所需农业机械的大量资金,从而改变已有经营规模下的最优要素组合,减少要素投入的同时提升自身生产经营能力,最终扩大测土配方施肥对农业减量化的促进作用,增加农业经营收入^[30]。因此,在生产性服务深入发展的背景下,测土配方施肥对农业经营收入的促进作用可以得到显著增强。

高标准农田建设的调节效应检验结果见表10模型2。可见:高标准农田建设×测土配方施肥交互项的系数为1.053,在1%的水平上显著为正,表明高标准农田建设越好,测土配方施肥的增收效应越大,即测土配方施肥对农业经营收入的促进作用需要依赖良好的农业生产环境。原因在于,高标准农田建设通过土地整治、水利设施建设、田间道路硬化、土壤改良等项目的实施,不仅完善了农田基础设施,提高了农业生产的机械化水平,还为测土配方施肥等新技术、新模式的应用提供了良好契机,使农户在高标准农田建设过程中能够主动学习掌握农业智能设备操作等农业生产知识和技能,进一步发挥测土配方施肥的节本增收效应。因此,高标准农田建设等农田整治项目的实施有助于测土配方施肥增收效果的发挥。

表10模型3为连片化经营×测土配方施肥交互

项的回归结果。可见:交互项系数显著为正,连片化经营在测土配方施肥实现农业经营收入增长中存在显著的调节作用。原因在于,地块分散化会伴随土地细碎化程度的加深,造成额外的田间管理和时间成本,抵消测土配方施肥带来的增收效应。而集中连片地块开展大规模测土配方施肥作业能够显著降低服务交易成本和农机移动成本,提高化肥要素的配置效率及田间管理水平,从而能够大幅度增加农业经营收入。因此,形成一定的横向作业规模是体现测土配方施肥节本、高效优势的重要前提,连片化经营会显著扩大测土配方施肥对农业经营收入的积极作用。模型4为全模型的估计结果,无论是逐一还是全部加入交互项,情境因素的调节效应依然保持稳定。因此,生产性服务、高标准农田建设、连片化经营3个情境因素是推动测土配方施肥最大化增收过程中的重要边界条件,假说3得证。

表 10 基于不同情境因素的调节效应检验结果
Table 10 Moderating effect test results based on different situational factors

变量 Variable	模型 1 Model 1	模型 2 Model 2	模型 3 Model 3	模型 4 Model 4
测土配方施肥 Soil testing and formula fertilization	0.147(0.183)	0.149(0.147)	0.126(0.158)	0.238(0.186)
生产性服务 Productive services	0.191(0.128)			0.170(0.124)
生产性服务×测土配方施肥 Productive services×Soil testing and formula fertilization	1.012*** (0.373)			0.798** (0.367)
高标准农田建设 High-standard farmland construction		0.327*** (0.093)		0.228*** (0.074)
高标准农田建设×测土配方施肥 High-standard farmland construction×Soil testing and formula fertilization		1.053*** (0.258)		0.390* (0.229)
连片化经营 Contiguous management			0.253*** (0.074)	0.302*** (0.092)
连片化经营×测土配方施肥 Contiguous management×Soil testing and formula fertilization			0.759*** (0.253)	0.805*** (0.260)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant term	10.000*** (0.343)	9.868*** (0.323)	9.877*** (0.336)	9.679*** (0.327)
观测值 Observations	859	859	859	859
R ²	0.649	0.677	0.662	0.703

注:为避免多重共线性问题,在检验调节效应之前对自变量及调节变量进行了中心化处理。
Note: Before testing the moderating effect, the independent variable and the moderating variable were centered to avoid multicollinearity issues.

4 结论与政策启示

为充分发挥测土配方施肥推广的收入增长效应,利用东北三省玉米种植户的施肥数据,分析测土配方施肥对农业经营收入的影响及作用机制,在此基础上,构建门槛回归模型和调节效应模型,剖析不同情境条件下测土配方施肥实现收入增长的异质规律,得到以下主要结论:

1)测土配方施肥对农业经营收入具有显著促进作用,增加比例为7.64%~13.04%。相较于兼业化农户,测土配方施肥对于专业化农户的增收效应更明显。相较于细碎化土地,测土配方施肥在完整地块上的增收效应更明显。

2)对内在影响机制的分析表明,测土配方施肥的使用提升了农业生产效率,且主要从减少施肥成本方面增加农业经营收入。测土配方施肥对作物产量的提升作用不显著,说明基于测土配方结果,依托精准施肥等集约化方式增加粮食产出的潜力仍待充分挖掘。

3)进一步分析表明,测土配方施肥对农业经营收入的影响显现出基于种植规模的双重门槛效应,不论种植规模低于还是高于门槛值,测土配方施肥对农业经营收入的促进作用一直存在,并且这一促进作用随着种植规模的增加而增强;生产性服务、高标准农田建设以及连片化经营等情境因素在测土配方施肥对农业经营收入的影响中起正向调节作用,说明良好的农业生产环境显著增强了测土配方施肥对农业经营收入的促进作用。

根据上述结论,得到以下政策启示:

1)继续加强测土配方施肥推广工作,提高技术普及率和应用效果。基层农技站应通过讲座、培训等方式,系统宣传测土配方施肥典型示范户的成功经验,直观展示测土配方施肥在提升土壤肥力、提高作物产量和降低投入成本方面的显著成效,增加农户对于新型农业技术的认可度与接纳程度,持续激发其科学施肥的内生动力。同时需强化测土配方施肥推广的后续跟进工作,全面开展田间测土、制定配方、指导施肥等配套工作,为种植户提供持续性的技术指导与咨询服务,确保种植散户、小户也可以便利地享受到测土配方施肥服务。

2)在提高农业生产效率方面,持续推进农业支持保护补贴、耕地地力保护补贴、农机具购置补贴

等工作,使得配方肥售价不高于普通复合肥,降低农户换用配方肥的经济门槛。以农户分化为契机进一步引导土地经营权有序流转,结合土地综合治理项目逐步解决土地细碎化问题,促进农业由农业兼业生产走向农业适度规模经营,通过机械施肥、水肥一体化等施肥方式来提高农业生产效率,确保测土配方施肥在规模经营场景中充分发挥增产增效的潜力。

3)应认识单项措施的局限性,探索建立以技术补贴为前提,土地整治为途径,基础服务为保障的相互组合的动力机制,助推技术增收效应的进一步发挥。一方面,构建环境友好、资源集约的现代农业服务体系,依托专业化组织在耕地、播种、追肥管理等环节的技术优势和节能环保优势,将测土配方施肥等绿色服务导入到农业生产中,从而形成技术溢出效应和生产性收入效应,间接带动农户的亲环境种粮行为。另一方面,根据地区地形条件、基础设施和家庭经营实际情况,将测土配方施肥项目与高标准农田建设相结合。在高标准农田建设地区大力推广测土配方肥,通过土地流转或置换等方式,促进土地集中连片布局,为测土配方施肥以及水肥一体化、无人机施肥等标准化施肥措施的应用提供保障,从而提高化肥施用效率,改善农户收入水平。

参考文献 References

- [1] 中共中央,国务院. 乡村全面振兴规划(2024—2027年)[EB/OL]. [2025-05-08]. https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/202502/content_7002798.html
The CPC Central Committee, the State Council. *The Plan for All: Around Rural Revitalization*(2024-2027)[EB/OL]. [2025-05-08]. https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/202502/content_7002798.html (in Chinese)
- [2] 徐洋,杜森,钟永红,薛彦东,潘晓丽,傅国海,周璇,胡江鹏,李贝,闫湘,沈德龙,张卫峰,张福锁. 测土配方施肥项目十五年进展与展望[J]. 中国土壤与肥料, 2023(3): 236-244
Xu Y, Du S, Zhong Y H, Xue Y D, Pan X L, Fu G H, Zhou X, Hu J P, Li B, Yan X, Shen D L, Zhang W F, Zhang F S. Progress and prospects for the project of formula fertilization by soil testing in the last 15 years[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2023(3): 236-244 (in Chinese)
- [3] 岳梦,张露,张俊彪. 土地细碎化与农户环境友好型技术采纳决策:以测土配方施肥技术为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1957-1968
Yue M, Zhang L, Zhang J B. Land fragmentation and farmers' environmental-friendly technology adoption decision: Taking soil measurement and fertilization technology as an example[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(8): 1957-1968 (in Chinese)
- [4] 孙彬涵,罗小锋. 跨越信息门槛有助于测土配方施肥技术推广吗[J]. 农业技

- 术经济, 2024(11): 34-50
- Sun B H, Luo X F. Will crossing information threshold promote the adoption of soil testing and formula fertilization technology [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2024(11): 34-50 (in Chinese)
- [5] 张复宏, 宋晓丽, 霍明. 果农对过量施肥的认知与测土配方施肥技术采纳行为的影响因素分析: 基于山东省9个县(区、市)苹果种植户的调查[J]. 中国农村观察, 2017(3): 117-130
- Zhang F H, Song X L, Huo M. Excess fertilizer application and growers' adoption behavior for soil testing for fertilizer formulation and their determinants: An empirical analysis based on survey data from apple growers in 9 counties of Shandong Province [J]. *China Rural Survey*, 2017(3): 117-130 (in Chinese)
- [6] 周波, 于冷. 农业技术应用对农户收入的影响: 以江西跟踪观察农户为例[J]. 中国农村经济, 2011(1): 49-57
- Zhou B, Yu L. Influence of agricultural technology application on farmers' income: A case study of follow-up observation of farmers in Jiangxi Province [J]. *Chinese Rural Economy*, 2011(1): 49-57 (in Chinese)
- [7] 陆泉志, 张益丰. 农户从测土配方施肥中获益了吗?: 兼论测土配方施肥技术缘何“叫好不叫座”[J]. 农业经济与管理, 2023(3): 48-58
- Lu Q Z, Zhang Y F. Have farmers benefited from soil testing and formulated fertilization?: On the reason why soil testing and formulated fertilization is “widely acclaimed but not widely adopted” [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2023(3): 48-58 (in Chinese)
- [8] 熊飞雪, 宁才旺, 饶盼, 朱述斌. 数字信息获取能否促进化肥减量增效技术采纳?: 兼论农户理性疏忽的影响[J]. 农业现代化研究, 2024, 45(6): 1071-1081
- Xiong F X, Ning C W, Rao P, Zhu S B. Can digital information acquisition facilitate the adoption of fertilizer reduction and efficiency enhancement technology? Discussion on the effect of rational negligence of farmers [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2024, 45(6): 1071-1081 (in Chinese)
- [9] 钱忠好, 岳佳, 蔡颖萍. 土地经营规模何以影响家庭农场采用现代农业技术: 基于1085户家庭农场监测数据的分析[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2023, 24(2): 10-18
- Qian Z H, Yue J, Cai Y P. The impact of the scale of land operation on the adoption of modern agricultural technology by family farms: Based on the analysis of the monitoring data of 1085 family farms [J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Social Sciences*, 2023, 24(2): 10-18 (in Chinese)
- [10] 金雪, 孙学涛, 谢花林. 农户生态耕种采纳决策及行为效应研究: 基于测土配方施肥技术应用的实证[J]. 农业现代化研究, 2025, 46(4): 707-717
- Jin X, Sun X T, Xie H L. Research on the decisions and behavioral effects of farmers' adoption of ecological farming: Empirical analysis based on the application of soil testing and formula fertilization technology [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2025, 46(4): 707-717 (in Chinese)
- [11] 彭斯, 陈玉萍. 农户绿色生产技术采用行为及其对收入的影响: 以武陵山茶叶主产区为例[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(2): 243-255
- Peng S, Chen Y P. Farmers' green production technology adoption behavior and its impact on income: Taking the main tea producing area of Wuling Mountain as an example [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(2): 243-255 (in Chinese)
- [12] 刘艳, 马贤磊, 石晓平. 农业高质量发展背景下农机施肥服务的效果研究[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(4): 606-615
- Liu Y, Ma X L, Shi X P. Research on the effectiveness of machinery fertilizer application services in the context of high-quality agricultural development [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2022, 43(4): 606-615 (in Chinese)
- [13] 乔梅, 王静, 王博文. 高标准农田建设、农业社会化服务与农业环境技术效率[J]. 农村经济, 2024(3): 91-100
- Qiao M, Wang J, Wang B W. High-standard farmland construction, agricultural socialization services and technology efficiency of agricultural environment [J]. *Rural Economy*, 2024(3): 91-100 (in Chinese)
- [14] 邝佛缘, 金建君, 邱欣. 农户绿色生产技术采纳行为及其效应: 以测土配方施肥技术为例[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(10): 226-235
- Kuang F Y, Jin J J, Qiu X. Farmers' adoption behavior of green production technology and its effects: A case study of soil testing and formula fertilization technology [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(10): 226-235 (in Chinese)
- [15] 陈中伟, 杨林源. 农业绿色生产技术的富民效应: 基于农户决策偏好视角[J]. 资源科学, 2024, 46(8): 1588-1603
- Chen Z W, Yang L Y. Enriching effects of agricultural green production technologies on farming households: From the perspective of farmers' decision preference [J]. *Resources Science*, 2024, 46(8): 1588-1603 (in Chinese)
- [16] 郑健, 宿智鹏, 刘俊彦, 王燕. 基于养分平衡原理的温室番茄沼液替代氮肥适宜模式及评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(2): 77-90
- Zheng J, Su Z P, Liu J Y, Wang Y. Suitable model and evaluation of nitrogen fertilizer replacement by greenhouse tomato digestate based on nutrient balance principle [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(2): 77-90 (in Chinese)
- [17] 韩雪梅, 杨林章, 俞映惊, 徐红艳, 朱秀红, 杨根, 程浩. 配方施肥对水稻生产和经济、环境效益的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(12): 2614-2622
- Han X M, Yang L Z, Yu Y L, Xu H Y, Zhu X H, Yang B, Cheng H. Effects of formulated fertilizer pattern on rice production, economic and environmental benefits [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(12): 2614-2622 (in Chinese)
- [18] 王翰霖, 李邦耀, 尹学红, 张铃雅, 贾爱平, 施文艺, 康馨, 冉文婷, 金徽, 叶林. 化肥减量配施蚯蚓堆肥对宁夏玉米产量及土壤肥力的影响[J/OL]. 江苏农业科学, 2025: 1-9 (2025-07-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20250722.0932.002.html>
- Wang H L, Li B Y, Yin X H, Zhang L Y, Jia A P, Shi W Y, Kang X, Ran W T, Jin H, Ye L. Effects of chemical fertilizer reduction combined with earthworm compost on maize yield and soil fertility in Ningxia [J/OL]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2025: 1-9 (2025-07-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20250722.0932.002.html> (in Chinese)
- [19] 黄善林, 邓月洪. 经营规模、黑土地保护技术采纳与农地经营效率: 农地细碎化的调节效应[J]. 中国土地科学, 2025, 39(1): 70-81
- Huang S L, Deng Y H. Operation scale, adoption of black land protection techniques and farmland management efficiency: Moderating effect of farmland fragmentation [J]. *China Land Science*, 2025, 39(1): 70-81 (in Chinese)
- [20] 冯燕, 吴金芳. 合作社组织、种植规模与农户测土配方施肥技术采纳行为: 基于太湖、巢湖流域水稻种植户的调查[J]. 南京工业大学学报: 社会科学版, 2018, 17(6): 28-37
- Feng Y, Wu J F. Cooperative organization, planting scale and farmer's soil testing formula adoption behavior: A survey of rice growers based on Taihu Lake and Chaohu Lake basin [J]. *Journal of Nanjing Tech University: Social Science Edition*, 2018, 17(6): 28-37 (in Chinese)
- [21] 陈卫洪, 于晴. 农业社会化服务对长江经济带农业生态效率的影响: 基于劳动力和资本要素配置视角[J]. 华东经济管理, 2025, 39(1): 21-30
- Chen W H, Yu Q. The impact of socialized agricultural services on the agricultural ecological efficiency in the Yangtze River economic belt: From the perspective of labor and capital element allocation [J]. *East China Economic Management*, 2025, 39(1): 21-30 (in Chinese)
- [22] 张安然, 李谷成, 罗斯炫, 盖豪. 农业生产托管的增产效应研究: 基于湖北

- 省水稻种植户的调查数据[J]. 农业技术经济, 2023(12): 8-26
- Zhang A R, Li G C, Luo S X, Gai H. Yield-increasing effect of agricultural production trusteeship: Taking rice farmers in Hubei Province as an example [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023(12): 8-26 (in Chinese)
- [23] 彭继权, 陈裕丰, 余炳文, 张译倍. 高标准农田建设的增收效应及其作用机制研究[J]. 农林经济管理学报, 2025, 24(5): 776-788
- Peng J Q, Chen Y F, Yu B W, Zhang Y B. Income increasing effect and mechanism of high-standard farmland construction[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2025, 24(5): 776-788 (in Chinese)
- [24] 张露, 梁志会, 曹雁翔. 长江经济带测土配方施肥技术效果及其改进: 基于滇、鄂、苏三省水稻种植的实证分析[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(3): 30-42
- Zhang L, Liang Z H, Pu Y X. Effect and improvement of soil testing and formulated fertilization technology in the Yangtze River Economic Belt: An empirical analysis of rice planting in Yunnan, Hubei and Jiangsu Provinces [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(3): 30-42 (in Chinese)
- [25] 许雨萱, 薛莹. 横向分工视角下农户家庭增收机制与效应[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2025, 24(1): 72-85
- Xu Y X, Xue Y. Income increase of farmers' households under the perspective of horizontal-division of labor: Role mechanisms and impact effects[J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2025, 24(1): 72-85 (in Chinese)
- [26] 曾福生, 史芳. 农业社会化服务能抑制小农户的耕地撂荒行为吗?: 基于湘赣浙三地微观调查数据的实证分析[J]. 农村经济, 2022(2): 37-44
- Zeng F S, Shi F. Can agricultural socialization service restrain small farmers' farmland abandonment behavior?: Empirical analysis based on micro-survey data in Hunan, Jiangxi and Zhejiang[J]. *Rural Economy*, 2022(2): 37-44 (in Chinese)
- [27] 田路, 郑少锋, 陈如静. 绿色防控技术采纳影响因素及收入效应研究: 基于792户菜农调查数据的实证分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(10): 1687-1697
- Tian L, Zheng S F, Chen R J. The influencing factors and income effects of green prevention-control technology adoption: An empirical analysis based on the survey data of 792 vegetable growers[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(10): 1687-1697 (in Chinese)
- [28] 郭锦楠, 刘衍朵, 贺亚琴. 数字技能、种养结合模式采纳行为与收入效应: 基于CRRS数据[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(8): 210-224
- Guo J Y, Liu Y D, He Y Q. Digital skills, farmers' adoption behavior of crop-livestock combined pattern and income effect: Based on CRRS data[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(8): 210-224 (in Chinese)
- [29] 黄书苑, 章语嫣, 张冰冰, 杨建州. 中国农业生产性服务与农业碳排放的非线性分析[J]. 中国农业资源与区划, 2025, 46(7): 24-38
- Huang S Y, Zhang Y Y, Zhang B B, Yang J Z. Nonlinear analysis of agricultural productive services and agricultural carbon emissions in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2025, 46(7): 24-38 (in Chinese)
- [30] 王篁, 马骥. 农业社会化服务与农户绿色生产: 研究综述与展望[J]. 农业经济与管理, 2024(5): 77-91
- Wang K, Ma J. Agricultural socialized services and farmers' green production: Research review and prospect[J]. *Agricultural Economics and Management*, 2024(5): 77-91 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 刘强, 博士研究生, 现就读于沈阳农业大学。本科和硕士均毕业于江苏师范大学。硕士研究生期间获得二等和三等学业奖学金。以第一作者或共同作者身份在《食品科学》《中国农业大学学报》《农业现代化研究》等国内外核心期刊发表学术论文5篇。博士研究方向为农业生产性服务与农业绿色发展。参加第十三届中国合作经济中青年工作坊并进行汇报; 相关论文获得第六届东北及内蒙古地区农林经济管理学科与专业发展论坛优秀论文奖; 参与研究生科研创新项目并成功结题。



通讯作者简介: 吕杰(ORCID: 0000-0003-0850-7271), 沈阳农业大学二级教授、博士生导师, 沈阳农业大学原副校长, 辽宁特聘教授, 国务院政府特殊津贴专家。现任沈阳农业大学农村经济研究所所长、辽宁省高校哲学社科重点实验室主任、辽宁省重点新型智库农业农村现代化研究基地首席专家。长期从事现代农业与农村发展、农业技术经济、农业产业组织与管理等教学与科研工作。主持和完成国家自然科学基金、国家社会科学基金、农业农村部软科学重点课题、国家重点研发计划项目课题、辽宁省重点软科学重点重大课题、辽宁社科重点重大委托课题等50余项。在国内外期刊发表学术论文270多篇, 研究成果获辽宁省科技进步奖一等奖2项、二等奖2项, 辽宁省哲学社会科学二等奖6项, 辽宁省优秀教学成果一等奖2项、二等奖2项。目前兼任教育部农业经济管理类专业教指委委员、全国高校毕业生就业创业教指委委员、中国重要农业文化遗产专家委员、中国国外农业经济学会副会长、中国农学会农业现代化专业委员会副主任、辽宁省委、省政府决策咨询委员会委员、辽宁省哲学社会学术委员会委员、辽宁省“十四五”规划专家组副主任委员等。