

# 数字推广与农户化肥减量\*

## ——来自陕西省苹果主产区的实证分析

毛 慧<sup>1</sup> 刘树文<sup>1</sup> 彭 澎<sup>2</sup> 杨焯月<sup>3</sup>

**摘要：**化肥减量是实现中国农业可持续发展的重要举措，数字推广能以较低成本、较快速度为农户提供个性化技术推广服务。然而，关于数字推广对农户化肥减量影响的经验证据仍然很少。本文基于陕西省苹果主产区 622 户苹果种植户调查数据，分析数字推广对农户化肥减量的影响及作用机制。基准回归结果表明，数字推广对农户化肥施用费用和施用量均有显著抑制作用。这一结论经过稳健性检验仍然成立。在作用机制方面：数字推广可以通过促进农户采用能替代化肥的绿色施肥技术降低其化肥施用费用和施用量；数字推广可以通过提高农户对化肥减量生态效益和经济效益的认知降低其化肥施用费用和施用量。异质性分析表明：相较于低数字素养农户，数字推广对高数字素养农户的化肥减量作用更大；相较于小农户，数字推广对规模户化肥施用费用的负向影响更大。

**关键词：**数字推广 绿色施肥技术 农户认知 化肥减量

**中图分类号：**F323 **文献标识码：**A

### 一、引言

化肥作为最重要的农业投入要素之一，是中国农业经济增长的重要驱动力，然而，农业化肥施用量已超过兼顾经济与环境效率最优用量区间（张云华等，2019；高晶晶和史清华，2021）。中国农业生产方式经历了从依靠劳动力等传统要素到依赖化肥等科技要素的转变过程，化肥这一重要农业生产要素逐步被认为是实现粮食增产和农业经济增长的关键要素（孔祥智等，2018）。中国是化肥生产和使用大国，中国化肥施用存在的一大问题是亩均施用量偏高，根据原农业部印发的《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》，中国农作物亩均化肥施用量为 21.9 千克，远高于世界平均水平（每亩 8 千

\*本文研究获得国家自然科学基金青年项目“黄河流域农户水土保持技术采用行为的干预机制与政策优化研究”（编号：72103115）、教育部人文社会科学研究一般项目“政策激励、信息干预与农户绿色农业技术采用行为研究”（编号：21XJC790008）和陕西省哲学社会科学年度项目“陕西省农户绿色农业技术行为及干预机制研究”（编号：2021D028）的资助。感谢匿名审稿专家提出的宝贵意见，文责自负。本文通讯作者：彭澎。

克)<sup>①</sup>。由于边际报酬递减规律，当前化肥施用成本已超过其可能带来的产出效益，过量施用化肥对粮食生产效率有抑制作用（高晶晶等，2019）。长期过量施用化肥和化肥利用率低下不仅会造成农业面源污染、耕地质量下降等问题，甚至还会使农产品质量下降，降低农产品国际竞争力（金书秦等，2020）。因此，探究如何促进农户化肥减量，对于改善生态环境、促进农业可持续发展具有重要意义。

化肥减量是农业高质量发展的关键，目前已有很多研究关注农户化肥施用行为，主要包括以下两个方面：一方面，从农业生产主体出发，现有研究重点关注农户个体因素和家庭因素对其化肥施用行为的影响。其中，个体因素包括户主年龄、受教育程度、风险偏好、技术认知等（仇焕广等，2014），家庭因素包括收入、资产、劳动力等（张聪颖和霍学喜，2018）。另一方面，从农业生产条件出发，已有文献聚焦于土地规模、政策补贴等因素对农户化肥施用行为的影响。例如，已有研究发现，土地经营规模、地权稳定性、土地细碎化程度等因素会改变农户生产规模经济性，影响其化肥减量（郑淋议等，2021），而技术补贴、技术培训、社会化服务等因素可以降低农户绿色施肥技术采用门槛，促进农户化肥减量（陆钰凤等，2022）。

相较之下，关于数字推广对农户化肥减量影响的经验证据仍然很少。在农村数字经济快速发展的背景下，相较于数字推广方式，传统的农技推广方式存在效率低、内容少、时效性差等弊端，不仅影响新型农业技术的推广效率，还会影响农户获取农业信息的时效性，对农户生产行为产生影响。尽管少部分学者已经关注到数字推广对农业生产效率（朱秋博等，2019；Zheng et al., 2021）、农户消费行为（张勋等，2021）和农户家庭收入（程名望和张家平，2019）等方面的影响，但是尚未有研究关注到数字推广的化肥减量效应，且鲜有研究从绿色施肥技术替代效应和化肥减量效益认知效应视角深入分析数字推广对化肥减量的作用机制。此外，在数字推广衡量方面，已有研究多采用使用手机、使用互联网等微观主体行为指标（马述忠和胡增玺，2022），或者采用数字金融指数、电商发展指数等宏观统计指标（秦芳等，2022），忽视了数字推广服务形式个性化和推广方式多样化特征。

农户生产决策面临资源和信息双重约束，而数字推广能缓解农户农业生产信息约束，促进农户优化资源配置（Dzanku et al., 2022；Harou et al., 2022）。理论上，数字推广影响农户化肥减量主要有以下方式：首先，数字推广可以利用信息和通讯技术，根据当地土壤质量、气候条件等相关信息，为农户提供肥料施用、农技采用等农业管理实践建议（Saito et al., 2015），有效促进农户化肥减量；其次，采用绿色施肥技术需要农户掌握足够的技术信息（Pan and Zhang, 2018），而数字推广能缓解农户在农业生产中面临的信息不对称，使农户充分获取绿色施肥技术方面的信息，促进其化肥减量（Deng et al., 2019）；最后，数字推广通过应用程序（APP）和公众号等农业技术推广渠道，强化农户化肥减量观念，提高农户化肥减量效益认知，促进其化肥减量（Campenhout et al., 2021）。

为此，本文基于陕西省622户苹果种植户调查数据，分析数字推广对农户化肥减量的影响及作用机制，研究和验证这些问题对化肥减量和农业绿色发展具有重要现实意义。与已有研究相比，本文试

<sup>①</sup>数据来源：《农业部关于印发〈到2020年化肥使用量零增长行动方案〉和〈到2020年农药使用量零增长行动方案〉的通知》，[http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/san/201711/t20171129\\_5923401.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/san/201711/t20171129_5923401.htm)。

图从以下几方面对既有研究作出补充：一是在研究内容上，本文证实数字推广对农户化肥减量的促进作用，补充有关农户化肥减量影响因素的现有证据，为促进农户化肥减量提供新视角；二是在理论机制上，本文从绿色施肥技术替代和农户化肥减量认知视角分析数字推广影响农户化肥减量的作用机制；三是在研究视角上，本文分析数字推广对不同数字素养、社会资本、经营规模农户化肥减量影响的差异，为制定有效的化肥减量政策提供决策依据。

## 二、概念界定、理论分析与研究假说

### （一）概念界定

数字推广是指推广主体借助互联网、电脑通信技术和数字交互式媒体推广信息、技术、产品和服务等实践活动，以一种高效率、低成本、强相关和定制化方式与用户沟通，高效地谋求新市场的开拓和新用户的发掘（Oyinbo et al., 2022）。数字推广具有服务个性化、信息数字化、成本最小化和选择空间广等特点，其沟通渠道包括网络渠道和非网络渠道。数字推广衡量方式主要包括3种：一是宽带接入、电脑和智能手机使用等互联网推广方式；二是电视、广播和短信等非网络推广方式；三是手机APP、公众号和网络直播等新型互联网推广方式（Zheng et al., 2021）。

数字推广可以为农户提供个性化服务和更大选择空间。具体而言：一方面，数字推广能按照农户需要提供个性化产品、技术和服务，跟踪农户行为偏好，并向农户推荐相关信息（Harou et al., 2022）。借助数字推广，农户不仅可以获得合适的农业生产技术和服务，提高生产效率，还能及时更新技术信息，保证生产专业化。另一方面，数字推广打破客观物理条件限制，为农户提供广泛的产品、技术和服务展示平台，使农户获得较大选择空间（Arouna et al., 2020）。数字推广不仅增强了农户自主选择能力，提高其产品鉴别能力，还激励农户寻求合适的生产模式。本文将数字推广界定为农户技术推广APP使用行为和农户技术推广公众号使用行为，分析数字推广的化肥减量效应。

### （二）理论分析与研究假说

根据信息搜寻理论，农户生产决策主要受限于生产成本、农业信息等因素，数字推广借助信息技术（information and communications technology, ICT），能低成本、高效率地为农户提供具有针对性、时效性的化肥减量信息和技术采用建议，促进农户化肥减量（Aker, 2011）。一方面，在实践中，农户实现化肥减量和采用绿色施肥技术存在一定风险，盲目减少化肥用量和采用绿色施肥技术可能导致产量减少、收益下降等问题（Burke et al., 2019）。而数字推广能够拓宽农户信息获取渠道，提高农户信息获取效率，加深他们对绿色施肥技术的了解程度（Fernando et al., 2021），降低他们采用绿色施肥技术的风险和成本（仇焕广等, 2014），促进农户采用绿色施肥技术。另一方面，借助数字信息宣传平台，数字推广向农户传递化肥减量优势，提高农户化肥减量生态效益和经济效益认知，促进其化肥减量（罗小娟等, 2019）。具体分析如下：

第一，数字推广降低农户交易成本，促进农户化肥减量。根据契约农业理论，农户在农业生产中的交易成本具体包括搜寻成本、获取成本和谈判成本（Williamson, 1979），数字推广缓解农户在市场交易中面临的信息不对称，降低农户采用绿色施肥技术的交易成本，促进其化肥减量（高天志等，

2022)。首先，数字推广降低农户搜寻成本。数字推广不仅优化农户信息配置效率，提高农户生产专业化程度，还为农户提供信息服务平台，帮助农户线上交流与学习、了解新型施肥模式，促进其化肥减量 (Barham et al., 2015)。其次，数字推广降低农户获取成本。一方面，数字推广提高信息透明度，降低农业生产信息获取门槛；另一方面，数字推广保证信息内容的丰富度和时效性，使农户掌握最新绿色施肥技术动态，实现化肥减量 (Campenhout et al., 2021)。最后，数字推广降低农户谈判成本。数字推广搭建网络传播和服务平台，不仅缓解农户与农技人员的沟通障碍、提高农户技术学习效率，还增强农户议价能力、提高其生产积极性，进而实现农户化肥减量 (Zheng et al., 2021)。

第二，数字推广加强绿色施肥技术替代效应，促进农户化肥减量。绿色肥料（如配方肥、商品有机肥等）可以改善土壤环境、增加土壤有机质含量，对化肥有替代效应，有利于实现化肥减量 (Liverpool-Tasie et al., 2017)。然而，由于存在信息不对称，绿色施肥技术具有净收益不确定风险和技术运用不当风险 (Dzanku et al., 2022)。数字推广能降低农户技术采用成本和风险，促进其采用绿色施肥技术 (高天志等, 2022)。其一，数字推广给予农户个性化技术指导，同时降低农户技术采用成本和学习成本，促进农户采用绿色施肥技术 (邱泽奇和乔天宇, 2021)。其二，数字推广降低农户绿色施肥技术采用风险，促进农户化肥减量。数字推广向农户提供个性化施肥建议和示范信息，为农户施肥提供信息指导，增强农户对绿色施肥技术的了解和掌握程度，促进农户采用绿色施肥技术，实现化肥减量 (朱秋博等, 2019)。

第三，数字推广提高农户化肥减量效益认知，促进农户化肥减量。化肥减量具有生态效益和经济效益，不仅可以降低面源污染、改善生态环境，还可以提高土壤质量和农户生产能力，有助于农户实现增产增收 (宋以玲等, 2018)。数字推广不但能拓宽农户获取信息的渠道，还能优化他们接收信息的质量，提高农户化肥减量生态效益和经济效益认知，促进农户化肥减量 (张聪颖和霍学喜, 2018)。一方面，数字推广通过农业服务 APP、公众号等途径使农户及时获取政策新闻和科普知识，提高信息可获得性，有利于农户认识化肥过量施用对生态环境的危害和化肥减量的增收效益，增强农户化肥减量理念，提高农户认知水平 (张淑娴等, 2019)。另一方面，数字推广将市场需求信息高效率地反馈给农户，农户为契合市场的绿色环保偏好，自发优化农业生产资源配置，追求绿色农业生产。数字推广激发农户化肥减量效益认知，促使农户生产绿色转型，实现化肥减量 (张露和罗必良, 2020)。

综上所述，数字推广促进农户化肥减量的分析框架如图 1 所示。基于上述分析，本文提出假说 H1、H2 和 H3。

H1: 数字推广对农户化肥减量有显著正向影响。

H2: 数字推广能通过促使农户采用绿色施肥技术促进化肥减量。

H3: 数字推广能通过提高农户化肥减量效益认知促进化肥减量。

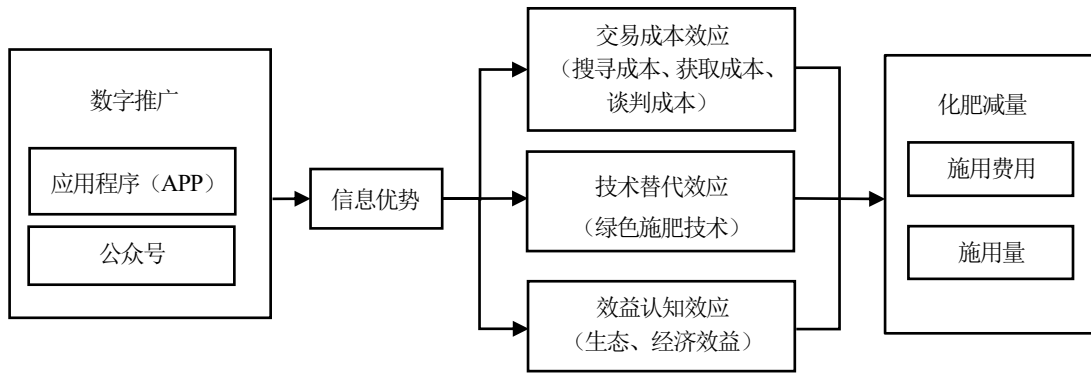


图1 数字推广促进农户化肥减量的分析框架

### 三、计量模型、数据来源与变量选择

#### (一) 计量模型

为考察数字推广对农户化肥减量的影响，本文选择的被解释变量为农户化肥施用行为，具体包括农户亩均化肥施用费用和农户亩均化肥施用量；核心解释变量为数字推广。参照梁志会等（2020）的研究，本文设定如下计量模型：

$$fertilizer_1 = \beta_0 + \beta_1 digital + \beta_2 X + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$fertilizer_2 = \gamma_0 + \gamma_1 digital + \gamma_2 X + \varepsilon_2 \quad (2)$$

(1) 式中， $fertilizer_1$  表示农户亩均化肥施用费用；(2) 式中， $fertilizer_2$  表示农户亩均化肥施用量（折纯量）。二者皆为连续变量，用于衡量农户化肥施用行为。进一步地，农户亩均化肥施用费用和施用量的方差可能会随核心解释变量增大而增大，所以，本文对农户亩均化肥施用费用和施用量做对数化处理，以缓解模型潜在的异方差问题。 $digital$  表示数字推广，用农户是否使用苹果种植技术推广 APP 度量，为二值变量。 $X$  表示样本个体特征、家庭特征和地区特征以及其他影响农户化肥施用情况的因素。 $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$  为随机扰动项，代表服从标准正态分布的不可观测因素。 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$  为常数项， $\beta_1$ 、 $\gamma_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\gamma_2$  为待估计系数。(1) 式和 (2) 式模型可能因数字推广与农户化肥减量互为因果、遗漏变量等存在内生性问题。因此，本文选取工具变量，采用工具变量法消除内生性问题引致的估计偏误。

#### (二) 数据来源

本文研究所用数据源自课题组2021年11月对陕西省苹果种植户的问卷调查。课题组选择陕西省苹果种植户作为调查对象的原因是：第一，陕西省是中国的农业大省，化肥施用量较大并呈上升趋势。陕西省2016—2021年每年化肥施用量均保持在200万吨以上，2021年苹果亩均化肥施用量74.8千克，超量施肥情况严重<sup>①</sup>。第二，陕西省数字推广发展较好。陕西省拥有科学完备、系统高效、数字资源齐

<sup>①</sup>数据来源：《陕西统计年鉴》（2017—2022年，历年），<http://tjj.shaanxi.gov.cn/tjsj/nds/tjnj/>。

全的苹果产业大数据体系，能够全面发挥数字推广对苹果产业的推动作用<sup>①</sup>。第三，苹果产业是陕西省农业的特色优势产业。2021年陕西省苹果种植面积达到930多万亩，产量1200多万吨，约占全国苹果总产量的27.03%<sup>②</sup>。

课题组在实地调查前做了充分准备工作，包括问卷设计、专家讨论和预调查等，并于2021年11月开展正式调查。在样本选取过程中，课题组对陕西省苹果种植农户采用多阶段抽样方法，大致分3个阶段：第一阶段，课题组综合考虑苹果产量、种植种类、地区差异和经济发展水平，选取陕北地区延安市和关中地区渭南市作为样本市。第二阶段，首先，课题组根据2020年2个样本市各县苹果产量数据将各县按照产量从大到小排序；然后，课题组采用等距抽样方法在2个样本市中各随机选取3个样本县，6个样本县分别是合阳县、洛川县、宜川县、白水县、富县和澄城县；最后，课题组在6个样本县中各随机选取2个样本乡镇。第三阶段，课题组在各样本乡镇中随机选取2个样本村，共计24个样本村。在村干部帮助下，调查员在每个样本村随机选取20~30户农户，单独开展面对面问卷调查，共计选取650户样本农户。

本次问卷调查获得的数据包括户主个体特征和农户家庭特征，农户种植模式和化肥施用情况，以及农户绿色施肥技术采用行为等信息，数据年份为2021年。此次调查共完成问卷650份，剔除部分数据缺失和异常的问卷后，得到有效问卷622份，问卷有效率为95.69%。

### （三）变量选择

1.被解释变量。参考已有研究（梁志会等，2020），本文采用亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量来衡量苹果种植户的化肥施用行为<sup>③</sup>。亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量越少，农户化肥减量越明显。中国农业化肥施用存在以下特点：一是化肥施用量较大。根据统计数据，中国农作物亩均化肥用量是美国的2.6倍，是欧盟的2.5倍<sup>④</sup>。二是化肥施用不均衡。相较于其他作物，经济作物化肥过量施肥现象比较普遍。三是化肥利用率较低，且施肥结构不平衡。目前，我国有机肥资源总养分约7000多万吨，实际利用不足40%<sup>④</sup>。在农业生产过程中氮元素施用过量，对农业生产效率具有显著负向影响（张云华等，2019）。

2.核心解释变量。本文使用“是否使用APP”（农户是否使用苹果种植技术推广APP）衡量数字推广：若农户使用苹果种植技术推广APP，取值为1；反之，则取值为0。此外，本文还使用“APP使用个数”（农户使用苹果种植技术推广APP个数）和“公众号”（农户是否关注苹果种植技术推广

<sup>①</sup>资料来源：《陕西：大数据驱动苹果产业转型升级》，[https://www.cnr.cn/sxpd/sx/20181114/t20181114\\_524415246.shtml](https://www.cnr.cn/sxpd/sx/20181114/t20181114_524415246.shtml)。

<sup>②</sup>数据来源：2021年陕西省苹果种植面积和产量数据来源于《陕西统计年鉴2022》，<http://tjj.shaanxi.gov.cn/upload/2022/zk/indexch.htm>。2021年全国苹果总产量数据来源于《中国统计年鉴2022》，<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2022/indexch.htm>。

<sup>③</sup>本文控制县级层面地区变量，同一个县化肥价格差异不大，故选择亩均化肥施用费用作为农户化肥减量行为的衡量标准之一。

<sup>④</sup>数据来源：《农业部关于印发〈到2020年化肥使用量零增长行动方案〉和〈到2020年农药使用量零增长行动方案〉的通知》，[http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/san/201711/t20171129\\_5923401.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/san/201711/t20171129_5923401.htm)。

公众号)来衡量数字推广,以对基准估计结果做稳健性检验。已有研究虽采用不同方式衡量数字推广,却较少从微观个体角度以农户使用技术推广 APP 和公众号的情况衡量数字推广。在数字经济发展背景下,技术推广 APP 和公众号作为数字推广的主要方式,不仅能降低推广成本,拓展推广范围,而且能为农户提供个性化服务,优化农户要素投入(Oyinbo et al., 2022)。

3. 中介变量。基于前文对数字推广化肥减量效应的理论机制分析,本文选择的中介变量包括农户绿色施肥技术采用行为和效益认知两个层面。其中,农户绿色施肥技术采用行为包括农户对配方肥、商品有机肥、农家肥、生物肥料的亩均施用量;农户认知包括农户对化肥减量生态效益认知和经济效益认知,主要通过问卷中的“您认为化肥减量对土壤质量的影响?”和“您认为化肥减量对农业收入的影响?”两个问题来识别。

4. 控制变量。参考已有研究(Arouna et al., 2020; Saito et al., 2015),本文控制了其他影响农户化肥减量的因素,包括户主年龄、户主性别、户主受教育年限、户主健康、家庭人口、种植经验、经营规模、地权稳定性、专业化程度、受灾程度、土壤肥力、技术补贴、合作社和地区变量。关于地区变量,本文以合阳县作为参照,设置其他 5 个县级地区变量。

变量含义与描述性统计见表 1。由表 1 可知,样本农户用于苹果生产的亩均化肥施用费用约为 794.40 元,亩均化肥施用量为 79.84 千克。样本农户中,使用苹果种植技术推广 APP 的农户占比约为 26.8%。

表 1 变量含义与描述性统计

变量分类	变量名称	变量含义和赋值	均值	标准差
被解释变量	亩均化肥施用费用	2021 年农户苹果生产亩均化肥施用费用(元)	794.398	479.582
	亩均化肥施用量	2021 年农户苹果生产亩均化肥施用量(折纯量,千克)	79.843	43.482
核心解释变量	是否使用 APP	农户是否使用苹果种植技术推广 APP: 是=1, 否=0	0.268	0.444
	APP 使用个数	农户使用苹果种植技术推广 APP 个数(个)	0.584	1.234
	公众号	农户是否关注苹果种植技术推广公众号: 是=1, 否=0	0.378	0.485
中介变量	配方肥	2021 年农户苹果生产亩均配方肥施用量(千克)	54.973	201.033
	商品有机肥	2021 年农户苹果生产亩均商品有机肥施用量(千克)	459.832	441.335
	农家肥	2021 年农户苹果生产亩均农家肥施用量(千克)	625.235	1341.971
	生物肥料	2021 年农户苹果生产亩均生物肥料施用量(千克)	84.837	180.737
	生态效益认知	化肥减量对土壤质量的影响: 非常有利=2, 有利=1, 没有影响=0, 不利=-1, 非常不利=-2	0.892	0.834
	经济效益认知	化肥减量对农业收入的影响: 非常有利=2, 有利=1, 没有影响=0, 不利=-1, 非常不利=-2	0.744	0.840
控制变量	户主年龄	户主实际年龄(岁)	54.120	9.565
	户主性别	户主性别: 男=1, 女=0	0.939	0.240
	户主受教育年限	户主受学校正规教育年限(年)	7.805	2.497
	户主健康	户主自我认定健康状况: 优=4, 良=3, 中=2, 差=1	3.143	0.910
	家庭人口	家庭人口数量(人)	4.235	1.604

表 1 (续)

种植经验	户主苹果种植年限(年)	24.730	8.970
经营规模	农户苹果种植面积(亩)	16.490	15.990
地权稳定性	农户苹果种植耕地流转面积(亩)	4.435	16.630
专业化程度 <sup>a</sup>	专业苹果种植农户:是=1,否=0	0.804	0.397
受灾程度	农户苹果种植耕地在2017—2021年受灾次数(次)	3.564	2.089
土壤肥力	苹果园土壤肥力:优=4,良=3,中=2,差=1	2.605	0.878
技术补贴	2021年当地是否有绿色施肥技术补贴:是=1,否=0	0.019	0.138
合作社	农户是否为合作社成员:是=1,否=0	0.240	0.427
洛川县	农户是否属于洛川县:是=1,否=0	0.185	0.389
宜川县	农户是否属于宜川县:是=1,否=0	0.148	0.355
白水县	农户是否属于白水县:是=1,否=0	0.185	0.389
富县	农户是否属于富县:是=1,否=0	0.148	0.355
澄城县	农户是否属于澄城县:是=1,否=0	0.164	0.371

注: a.专业化程度是指农户专门从事某项农产品生产经营活动的程度。本文使用农户苹果种植面积占比衡量其专业化程度,若农户苹果种植面积占比为100%,则将其视为专业苹果种植农户,专业化程度变量取值为1,否则取值为0。

此外,相较于未使用苹果种植技术推广APP的农户,使用苹果种植技术推广APP的农户亩均化肥施用费用和施用量更低,这表明数字推广可能具有化肥减量效应。本文对两组样本农户的亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量做t检验,结果发现使用苹果种植技术推广APP的农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量都显著低于未使用苹果种植技术推广APP的农户<sup>①</sup>。

## 四、回归结果与分析

### (一) 数字推广影响农户化肥减量的基准回归结果

本文接下来考察数字推广对农户化肥减量的促进作用。所有模型均控制了地区固定效应,标准误均采用稳健标准误,回归结果如表2所示<sup>②</sup>。根据估计结果,在控制样本个体特征、家庭特征和地区特征后,是否使用APP均在1%统计水平上对农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量有显著负向影响,这表明数字推广能有效促进农户化肥减量,假说H1得以验证。这一结果的原因可能在于:一方面,数字推广有助于增加农户对绿色施肥技术的了解程度和认可程度,促进农户采用绿色施肥技术,从而有利于实现化肥减量;另一方面,数字推广通过高效率、多样化的宣传方式,提高农户化肥减量生态效益与经济效益认知,增强农户化肥减量观念,从而有利于实现化肥减量。

<sup>①</sup>限于篇幅,t检验结果未列出,感兴趣的读者可通过编辑部向作者索取。

<sup>②</sup>本文将户主健康、土壤肥力设置为虚拟变量来做稳健性检验,结果基本一致。限于篇幅,回归结果未列出,感兴趣的读者可通过编辑部向作者索取。



表2 数字推广影响农户化肥减量的基准回归结果

变量或指标名称	亩均化肥施用费用				亩均化肥施用量			
	回归 1		回归 2		回归 3		回归 4	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
是否使用 APP	-0.296***	0.066	-0.284***	0.064	-0.421***	0.075	-0.404***	0.073
户主年龄	0.002	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.004
户主性别	0.021	0.106	-0.044	0.106	0.111	0.106	0.090	0.104
户主受教育年限	-0.002	0.011	0.001	0.010	0.014	0.011	0.016	0.011
户主健康	-0.042	0.029	-0.047	0.029	-0.089***	0.031	-0.093***	0.031
家庭人口	0.004	0.017	0.005	0.016	-0.012	0.017	-0.010	0.017
种植经验	0.001	0.003	-0.000	0.003	0.002	0.003	0.001	0.003
经营规模	-0.004	0.003	-0.006**	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003
地权稳定性	0.003	0.002	0.004*	0.002	-0.005**	0.002	-0.004	0.003
专业化程度	0.125*	0.068	-0.019	0.074	0.057	0.069	0.017	0.075
受灾程度	0.005	0.012	0.003	0.012	0.004	0.011	0.007	0.012
土壤肥力	-0.023	0.031	-0.024	0.030	0.019	0.033	0.021	0.032
技术补贴	-0.227	0.229	-0.200	0.222	-0.135	0.191	-0.085	0.189
合作社	-0.110*	0.061	-0.046	0.064	-0.026	0.059	-0.021	0.062
洛川县			0.270***	0.084			0.116	0.081
宜川县			0.330***	0.092			0.094	0.091
白水县			-0.066	0.084			-0.110	0.081
富县			-0.022	0.096			-0.282***	0.106
澄城县			-0.102	0.094			-0.057	0.091
常数项	6.572***	0.276	6.615***	0.276	4.149***	0.276	4.264***	0.272
观测值数	622		622		622		622	
R <sup>2</sup>	0.070		0.121		0.111		0.146	

注：①\*、\*\*和\*\*\*分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。②标准误为稳健标准误。

## (二) 内生性处理：工具变量法

前文发现数字推广对农户化肥减量有显著正向影响，但是该结果可能受到内生性问题影响。一是反向因果问题。农户化肥减量可能会影响农户使用苹果种植技术推广 APP，即化肥施用量较少的农户可能更倾向于使用苹果种植技术推广 APP，从而产生反向因果问题。当农户减少化肥施用后，可能会增施商品有机肥等绿色肥料，促使农户通过苹果种植技术推广 APP 学习施肥技术。因此，不能排除反向因果存在的可能性。二是遗漏变量问题。由于模型很难控制所有影响农户化肥减量的因素，本文模型可能存在遗漏变量导致的内生性问题。某些难以准确衡量的变量（如农户接受新事物的能力、农户家庭成员知识水平）也会影响农户使用苹果种植技术推广 APP 行为和化肥减量行为，故不能排除遗漏变量带来的内生性问题。此外，农户苹果种植技术推广 APP 使用行为与化肥施用行为在某种程度上可能存在同时决策的自选择问题。

参考 Kolko (2012) 的做法, 本文将农户所在村庄平均数字推广程度作为农户是否使用 APP 的工具变量 (IV)。村庄平均数字推广程度由村内农户是否使用 APP 数据以农户家庭规模为权重加权平均得到, 村庄平均数字推广程度与农户是否使用 APP 密切相关。一个村庄平均数字推广程度越高, 说明该村网络平台建设越成熟, 互联网普及率越高, 该村农户使用苹果种植技术推广 APP 的概率越大。因此, 该工具变量满足相关性条件。但是, 村庄平均数字推广程度可能通过改变农村信息基础设施、农户苹果种植专业化程度等影响农户化肥减量。为解决这一问题, 本文做出以下处理: 一是控制农户专业化程度。根据信息扩散理论, 若村庄平均数字推广程度越低, 信息基础设施越匮乏, 农户采用绿色施肥技术水平越落后, 则农户越难获取专业种植技术、绿色施肥技术信息, 越不利于实现化肥减量。二是控制农户所在县的地区变量。不同县的化肥减量政策与数字推广力度具有差异化特征, 经济发展越快的县, 数字推广程度越高, 化肥减量政策实施效果越好。控制农户专业化程度和地区变量后, 村庄平均数字推广程度变量可以同时满足工具变量的相关性和外生性条件, 是一个有效工具变量。

表 3 报告了工具变量法回归结果。由第一阶段回归结果可知, 工具变量与潜在内生变量在 1% 的水平上显著正相关, 而且不可识别检验统计量 (Kleibergen-Paap rk LM statistic) p 值小于 0.01, 表明工具变量满足相关性条件。第一阶段 F 值为 55.99, 大于 Cragg-Donald 统计量的临界值, 说明不存在弱工具变量问题。回归 2 和回归 3 报告了第二阶段回归结果, 可以看出, 亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量的系数方向和显著性水平与基准回归结果一致。这意味着使用工具变量法处理内生性问题后, 数字推广仍对农户化肥减量具有显著促进作用, 假说 H1 进一步得到验证。

表 3 数字推广影响农户化肥减量的 IV-2SLS 估计结果

变量或指标名称	第一阶段	第二阶段	
	是否使用 APP 回归 1	亩均化肥施用费用 回归 2	亩均化肥施用量 回归 3
是否使用 APP		-0.500** (0.203)	-0.731*** (0.192)
村庄平均数字推广程度	0.317*** (0.042)		
常数项	0.387** (0.170)	6.721*** (0.290)	4.425*** (0.282)
控制变量	已控制	已控制	已控制
第一阶段 F 值	55.99***		
Kleibergen-Paap rk LM statistic	42.448***		
观测值数	622	622	622
R <sup>2</sup>		0.102	0.105

注: ①\*\*和\*\*\*分别表示 5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

(三) 稳健性检验

为避免核心解释变量选取偏误,本文采用农户 APP 使用个数和公众号两个指标度量数字推广,以对基准回归结果进行稳健性检验。表 4 报告了 APP 使用个数和公众号对农户化肥减量的影响。回归 1 和回归 2 估计结果显示,APP 使用个数对农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量均产生显著负向影响。这一结果的原因可能在于,APP 使用个数增加帮助农户更多地了解绿色施肥技术,有利于实现化肥减量。回归 3 和回归 4 估计结果显示,公众号对农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量均产生显著负向影响。苹果种植技术推广公众号能持续向农户推送苹果种植技术相关信息,其中包括合理施肥建议,引导农户使用商品有机肥等绿色肥料,从而实现化肥减量。综上所述,改变数字推广度量方式后,数字推广对农户化肥减量的正向作用依然存在,进一步证实本文基准回归结果的稳健性。

表 4 数字推广影响农户化肥减量的稳健性检验回归结果

变量或指标名称	亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量	
	回归 1	回归 2	回归 3	回归 4
APP 使用个数	-0.080* (0.042)	-0.128*** (0.041)		
公众号			-0.137** (0.059)	-0.127** (0.056)
常数项	6.509*** (0.278)	4.120*** (0.272)	6.516*** (0.278)	4.102*** (0.273)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	622	622	622	622
R <sup>2</sup>	0.107	0.129	0.097	0.090

注: ①\*、\*\*和\*\*\*分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

此外,为验证研究结果稳健性,本文还采用概率权重做加权回归,即赋予具有较强代表性村庄的农户样本较大的抽样权重,以此作为稳健性检验。回归结果亦与基准回归结果基本一致(如表 5 所示)。

表 5 数字推广影响农户化肥减量的加权回归结果

变量或指标名称	亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量	
	回归 1	回归 2	回归 3	回归 4
是否使用 APP	-0.315*** (0.069)	-0.294*** (0.067)	-0.419*** (0.077)	-0.397*** (0.075)
常数项	6.577*** (0.287)	6.675*** (0.287)	3.997*** (0.280)	4.160*** (0.273)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	622	622	622	622
R <sup>2</sup>	0.073	0.127	0.113	0.150

注: ①\*\*\*表示 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

#### （四）作用机制检验

上述回归结果分析表明，数字推广对农户化肥减量有显著正向影响，进一步地，数字推广通过何种机制对此产生影响？下面本文从替代技术效应、效益认知效应视角讨论数字推广促进农户化肥减量的作用机制。

1. 替代技术效应。已有研究表明，绿色肥料与化肥之间存在替代关系（杨钰蓉和罗小锋，2018）。由于农业生产特性，农户增加施用配方肥、商品有机肥等绿色肥料后，自然会减少施用化肥。具体来说，一方面，有限的农业生产成本促成绿色肥料与化肥的替代关系；另一方面，作物生长需求与土地施肥量标准限制农户同时施用过量的绿色肥料和化肥。数字推广缓解农户在农业生产中的信息不对称，传播绿色施肥技术信息，降低农户技术学习门槛，提高农户对绿色施肥技术了解程度和认可程度，促使其采用绿色施肥技术，实现化肥减量（Deng et al., 2019）。因此，从理论上分析可以得出，数字推广会通过影响农户绿色施肥技术采用行为，促进化肥减量。下面通过回归分析对此加以验证。

回归结果如表 6 所示。从回归 1~4 的结果可以看出，在控制样本个体特征、家庭特征和地区特征后，农户使用苹果种植技术推广 APP 对配方肥、商品有机肥、农家肥和生物肥料等绿色肥料施用量均有显著促进作用，表明使用苹果种植技术推广 APP 促使农户采用绿色施肥技术，有利于实现化肥减量。本文也采用允许不同方程之间存在相关性的多元 Probit 模型和有序 Probit 模型进行回归，作为机制分析的稳健性检验，回归结果基本一致<sup>①</sup>。因此，数字推广能通过促进农户采用绿色施肥技术促进化肥减量，假说 H2 得以验证。

表 6 数字推广影响农户化肥减量的作用机制估计结果

变量或指标名称	技术替代效应				效益认知效应	
	配方肥 回归 1	商品有机肥 回归 2	农家肥 回归 3	生物肥料 回归 4	生态效益 回归 5	经济效益 回归 6
是否使用 APP	207.764* (123.138)	97.705** (48.624)	1131.418*** (358.134)	202.089*** (44.283)	0.633*** (0.065)	0.379*** (0.075)
常数项	-3947.207*** (772.585)	-53.656 (230.330)	-1320.993 (1809.575)	-447.647** (224.533)	0.255 (0.320)	-0.467 (0.327)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	622	622	622	622	622	622
Wald 值	55.28***	50.42***	49.84***	69.56***		
R <sup>2</sup>					0.205	0.133

注：①\*、\*\*和\*\*\*分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

2. 效益认知效应。数字推广能提高农户生态效益和经济效益认知：一方面，数字推广拓宽农户信息获取渠道，使农户拥有更多途径了解化肥过量施用给土壤环境乃至整个生态系统带来的威胁，提高农户生态效益认知，促进化肥减量；另一方面，数字推广增加农户对先进种植模式和施肥方式的了解，

<sup>①</sup>限于篇幅，回归结果未列出，感兴趣的读者可通过编辑部向作者索取。

包括施用商品有机肥等绿色施肥技术的益处和化肥减量的增收效应等（Campenhout et al., 2021）。故数字推广在理论上可以通过提高农户生态效益和经济效益认知，促进其化肥减量。下面通过回归分析加以验证。

回归结果见表 6。由回归 5 和回归 6 的结果可以看出，在控制样本个体特征、家庭特征和地区特征后，农户使用苹果种植技术推广 APP 能显著提高他们的化肥减量生态效益和经济效益认知，促进其化肥减量。因此，假说 H3 得以验证。

（五）异质性分析

1.数字推广与农户化肥减量：基于数字素养差异性。数字素养<sup>①</sup>指个体在数字环境下利用互联网信息技术手段，快速有效地发现并获取信息、评价信息、整合信息、交流信息的综合素养。具体而言，数字素养涵盖个体最基本的找寻和学习有效数字信息能力以及个体对信息通信技术（ICT）的主观认知。因此，下文用互联网使用方式和互联网重要性来衡量农户的数字素养，分析数字推广是否会因农户数字素养不同而产生差异化影响。

数字推广对农户生产行为的影响取决于农户的数字产品使用方式。本文根据样本农户对问卷中“您使用互联网学习（农业技术知识等）的频率有多高？”的回答，将样本分为高学习频率和低学习频率两组做分组回归，回归结果见表 7。表 7 回归 1 和回归 3 的结果表明，是否使用 APP 对高学习频率农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量有显著负向影响。模型邹检验 F 统计量分别为 1.52 和 2.01，表明数字推广对高学习频率农户和低学习频率农户化肥减量的影响存在差异，对高学习频率农户的影响更大。

表 7 数字推广影响农户化肥减量：基于数字素养差异性

变量或指标名称	亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量		亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量	
	高学习频率	低学习频率	高学习频率	低学习频率	高互联网重要性	低互联网重要性	高互联网重要性	低互联网重要性
	回归 1	回归 2	回归 3	回归 4	回归 5	回归 6	回归 7	回归 8
是否使用 APP	-0.302*** (0.075)	-0.197 (0.139)	-0.428*** (0.085)	-0.378** (0.148)	-0.319*** (0.067)	0.003 (0.200)	-0.405*** (0.075)	-0.595** (0.253)
常数项	6.801*** (0.347)	6.424*** (0.464)	4.501*** (0.372)	3.999*** (0.434)	6.444*** (0.321)	6.870*** (0.504)	4.076*** (0.312)	4.335*** (0.587)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制

<sup>①</sup>数字素养概念最早由以色列学者 Y. Eshet-Alkalai 提出，后由 Paul Gilster 在 1998 年出版的著作《Digital Literacy》中正式提出，并将数字素养定义为对数字时代信息的使用与理解的能力，强调数字技术作为基本生活技能的重要性（Gilster, 1998）。这一概念后来受到国际图书馆协会联合会（International Federation of Library Associations and Institutions, IFLA）、经济合作与发展组织（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）、英国联合信息系统委员会（Joint Information Systems Committee, JISC）等国际组织认同。

表 7 (续)

观测值数	394	228	394	228	513	109	513	109
R <sup>2</sup>	0.155	0.132	0.170	0.192	0.139	0.257	0.154	0.250
邹检验F 统计量	1.52* (0.077)		2.01*** (0.005)		1.69** (0.036)		1.32 (0.182)	

注：①\*、\*\*和\*\*\*分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

此外，在信息时代，以互联网为代表的信息技术提高了劳动生产率、土地生产率和全要素生产率（朱秋博等，2019）。同时，互联网作为数字推广的重要媒介，可以帮助农户有效使用苹果种植技术推广 APP。农户越重视互联网，越愿意将网络与生活联系起来，享受“数字推广红利”，有利于实现化肥减量。因此，本文按照农户对“互联网对您有多重要？”的回答，将样本分为高互联网重要性和低互联网重要性两组做分组回归，回归结果见表 7。

表 7 回归 5 和回归 7 的结果表明，数字推广主要对高互联网重要性农户亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量有显著负向影响。模型邹检验 F 统计量分别为 1.69 和 1.32，表明数字推广对高互联网重要性农户和低互联网重要性农户亩均化肥施用费用的影响存在差异，对高互联网重要性农户的影响更大。

基于上述分析，本文发现相较于数字素养较低的农户，数字推广更有助于数字素养较高的农户实现化肥减量。可能的原因在于，苹果种植技术推广 APP 是伴随信息时代出现的新产品，农户需要具备一定学习能力和数字素养，才能了解并且通过苹果种植技术推广 APP 获取有价值的信息。农户数字素养越高，其接受新鲜事物能力越强，越能从苹果种植技术推广 APP 中获取更多施肥技术信息，促进化肥减量。

2.数字推广与农户化肥减量：基于社会资本差异性。社会资本指个体调配社会网络中各项资源的能力。一方面，社会资本为农户提供丰富的社会资源，拓宽农户信息获取渠道，使其更容易接触和学习农业技术；另一方面，社会资本通过社会网络影响农户生活和种植习惯，当周围农户通过苹果种植技术推广 APP 学习先进种植模式和施肥方式时，农户使用苹果种植技术推广 APP 意愿更强。因此，本文按照农户手机中常用联系人数量均值，将样本分为高社会资本和低社会资本两组做分组回归，回归结果见表 8。

表 8 数字推广影响农户化肥减量：基于社会资本差异性

变量或指标名称	亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量	
	高社会资本 回归 1	低社会资本 回归 2	高社会资本 回归 3	低社会资本 回归 4
是否使用 APP	-0.329*** (0.092)	-0.221** (0.093)	-0.387*** (0.093)	-0.387*** (0.116)
常数项	6.392*** (0.505)	6.720*** (0.338)	3.920*** (0.502)	4.408*** (0.324)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制

表 8 (续)

观测值数	249	373	249	373
R <sup>2</sup>	0.185	0.113	0.263	0.103
邹检验 F 统计量	1.21 (0.238)		1.25 (0.238)	

注：①\*\*和\*\*\*分别表示 5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

表 8 的结果表明，数字推广对高社会资本农户和低社会资本农户的亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量均有显著负向影响，只是对亩均化肥施用费用负向影响的显著性在两类农户中存在差异。然而，模型邹检验 F 统计量分别为 1.21 和 1.25，表明数字推广对高社会资本农户和低社会资本农户化肥减量的影响不存在显著差异。可能的原因在于，数字推广与新型社交方式和社交媒介（如微信或其他社交 APP 等）相关程度较高，而本文度量社会资本的指标为传统社交方式的联系人数量，它与数字推广关联程度相对较低，较难体现数字推广对不同社会资本农户化肥减量的影响差异。

3. 数字推广与农户化肥减量：基于经营规模差异性。随着农业规模经营的发展，小农户和规模户在信息获取、社会资本、政府补贴等方面存在显著差异。与小农户相比，规模户更愿意采用绿色农业技术。农户经营规模越大，越有利于提高其种植专业性，农户更倾向于接受数字推广，实现化肥减量。因此，参考已有研究（许庆等，2020），本文按照农户经营规模的中位数将样本分为规模户和小农户两组做分组回归，回归结果见表 9。

表 9 数字推广影响农户化肥减量：基于经营规模差异性

变量或指标名称	亩均化肥施用费用		亩均化肥施用量	
	规模户 回归 1	小农户 回归 2	规模户 回归 3	小农户 回归 4
是否使用 APP	-0.282*** (0.080)	-0.238** (0.113)	-0.412*** (0.087)	-0.371*** (0.138)
常数项	6.662*** (0.382)	6.648*** (0.406)	4.278*** (0.386)	4.357*** (0.427)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	376	246	376	246
R <sup>2</sup>	0.148	0.150	0.154	0.178
邹检验 F 统计量	1.64** (0.037)		0.97 (0.499)	

注：①\*\*和\*\*\*分别表示 5%和 1%的显著性水平。②括号中为稳健标准误。③控制变量同表 2。

表 9 的结果表明，数字推广对规模户和小农户的亩均化肥施用费用和亩均化肥施用量均有显著负向影响，然而负向影响的显著性在规模户和小农户中存在差异。模型邹检验 F 统计量分别为 1.64 和 0.97，表明数字推广对规模户和小农户亩均化肥施用费用的影响存在显著差异，对规模户亩均化肥施用费用的影响更大，然而对亩均化肥施用量的影响不存在显著差异。

因此,本文发现相较于小农户,数字推广更有助于规模户实现化肥减量。值得注意的是,相较于亩均化肥施用量,数字推广对不同农户亩均化肥施用费用的影响差异更明显。可能的原因在于:一方面,相较于小农户,规模户更具信息优势,以实现低成本、高效率的农业生产要素投入,从而减少化肥投入成本;另一方面,规模户对化肥需求量更大,在肥料采购市场上更具价格谈判优势,他们可以利用规模优势获得较低化肥价格,从而降低化肥投入成本。

## 五、结论与政策启示

化肥施用推动中国农业经济发展,然而,化肥过量施用造成土壤肥力下降与水污染等资源与环境问题,严重威胁农产品质量安全,阻碍农业可持续发展。本文以2021年陕西省苹果主产区622户苹果种植户调查数据为基础,系统评估数字推广对农户化肥减量的影响及作用机制,并探讨这一作用因数字素养、社会资本和经营规模不同而产生的差异。

本文的主要研究结论包括以下3个方面:第一,基准回归结果表明,数字推广具有显著的化肥减量效应,在控制地权稳定性、土壤肥力和技术补贴等其他影响因素的情况下,数字推广具有化肥减量效应的基本结论成立。第二,机制分析表明,数字推广能通过促进农户采用绿色施肥技术、提高农户化肥减量生态效益和经济效益认知,实现化肥减量。第三,异质性分析表明:从数字素养视角来看,一方面,对于亩均化肥施用费用,数字推广对高数字素养农户具有显著化肥减量效应,而对低数字素养农户影响不显著;另一方面,对于亩均化肥施用量,数字推广对高数字素养农户化肥减量效应更明显。从经营规模视角来看,数字推广对规模户亩均化肥施用费用的负向影响更明显。

上述研究结论揭示了数字推广有助于实现农户化肥减量,研究结论具有以下政策启示:第一,应注意到数字推广对农户化肥减量的促进作用。政府应发挥数字推广对农户生态效益和经济效益认知的促进作用,增强农户化肥减量意识,进一步加大数字推广力度,促进数字农业发展。第二,数字推广更有助于高数字素养农户实现化肥减量,一方面,政府不仅应增加农村教育建设投资,增强农户学习能力,提高其综合素质,还应增加农村基础设施建设投资,提高农村网络普及率,并做好网络信息宣传工作,扩大农户网络参与度。另一方面,政府应加强对农户的培训,引导农户主动增强自身学习能力,重视农业数字化发展,提高自身数字素养,以适应农村数字经济发展,享受数字红利。第三,由于数字推广更有助于规模户减少亩均化肥施用费用,政府应通过土地整治等手段适度扩大农户经营规模,鼓励农户丰富经营方式,增强化肥减量效果。

本文也存在一定局限性。一方面,本文采用截面数据研究数字推广的化肥减量效应,而使用面板数据分析该问题能更好地处理模型中可能存在的内生性问题。因此,在未来研究中,课题组将考虑对已调查农户开展追踪调查,收集面板数据,进一步探究农户化肥减量的影响因素。另一方面,本文对数字推广的衡量方式不够丰富,后续可考虑采用农户苹果种植技术推广APP使用年限、农户对苹果种植技术推广APP的重视程度等指标衡量数字推广。



参考文献

- 1.程名望、张家平, 2019: 《互联网普及与城乡收入差距: 理论与实证》, 《中国农村经济》第2期, 第19-41页。
- 2.高晶晶、彭超、史清华, 2019: 《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》, 《管理世界》第10期, 第120-132页。
- 3.高晶晶、史清华, 2021: 《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》, 《管理世界》第12期, 第124-134页。
- 4.高天志、冯辉、陆迁, 2022: 《数字农技推广服务促进了农户绿色生产技术选择吗? ——基于黄河流域3省微观调查数据》, 《农业技术经济》, <http://www.doi.org/10.13246/j.cnki.jae.20220425.001>。
- 5.金书秦、牛坤玉、韩冬梅, 2020: 《农业绿色发展路径及其“十四五”取向》, 《改革》第2期, 第30-39页。
- 6.孔祥智、张琛、张效榕, 2018: 《要素禀赋变化与农业资本有机构成提高——对1978年以来中国农业发展路径的解释》, 《管理世界》第10期, 第147-160页。
- 7.梁志会、张露、张俊飏, 2020: 《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》, 《中国农村观察》第5期, 第73-92页。
- 8.陆钰凤、刘进、许庆, 2022: 《中国化肥减量政策变迁及其内在逻辑》, 《农业经济问题》第9期, 第74-85页。
- 9.罗小娟、冯淑怡、黄信灶, 2019: 《信息传播主体对农户施肥行为的影响研究——基于长江中下游平原690户种粮大户的空间计量分析》, 《中国人口·资源与环境》第4期, 第104-115页。
- 10.马述忠、胡增玺, 2022: 《数字金融是否影响劳动力流动? ——基于中国流动人口的微观视角》, 《经济学(季刊)》第1期, 第303-322页。
- 11.秦芳、王剑程、胥芹, 2022: 《数字经济如何促进农户增收? ——来自农村电商发展的证据》, 《经济学(季刊)》第2期, 第591-612页。
- 12.邱泽奇、乔天宇, 2021: 《电商技术变革与农户共同发展》, 《中国社会科学》第10期, 第145-166页、第207页。
- 13.仇焕广、栾昊、李瑾、汪阳洁, 2014: 《风险规避对农户化肥过量施用行为的影响》, 《中国农村经济》第3期, 第85-96页。
- 14.宋以玲、于建、陈士更、肖承泽、李玉环、苏秀荣、丁方军, 2018: 《化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响》, 《水土保持学报》第1期, 第352-360页。
- 15.许庆、陆钰凤、张恒春, 2020: 《农业支持保护补贴促进规模农户种粮了吗? ——基于全国农村固定观察点调查数据的分析》, 《中国农村经济》第4期, 第15-33页。
- 16.杨钰蓉、罗小锋, 2018: 《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》, 《农业技术经济》第10期, 第77-85页。
- 17.张聪颖、霍学喜, 2018: 《劳动力转移对农户测土配方施肥技术选择的影响》, 《华中农业大学学报(社会科学版)》第3期, 第65-72页、第155页。
- 18.张露、罗必良, 2020: 《农业减量化: 农户经营的规模逻辑及其证据》, 《中国农村经济》第2期, 第81-99页。
- 19.张淑娴、陈美球、谢贤鑫、邝佛缘、刘艳婷、周丹, 2019: 《生态认知、信息传递与农户生态耕种采纳行为》, 《中国土地科学》第8期, 第89-96页。

- 20.张勋、万广华、吴海涛, 2021: 《缩小数字鸿沟: 中国特色数字金融发展》, 《中国社会科学》第8期, 第35-51页、第204-205页。
- 21.张云华、彭超、张琛, 2019: 《氮元素施用与农户粮食生产效率: 来自全国农村固定观察点数据的证据》, 《管理世界》第4期, 第109-119页。
- 22.郑淋议、钱文荣、刘琦、郭小琳, 2021: 《新一轮农地确权对耕地生态保护的影响——以化肥、农药施用为例》, 《中国农村经济》第6期, 第76-93页。
- 23.朱秋博、白军飞、彭超、朱晨, 2019: 《信息化提升了农业生产率吗?》, 《中国农村经济》第4期, 第22-40页。
- 24.Aker, J. C., 2011, "Dial 'A' for Agriculture: A Review of Information and Communication Technologies for Agricultural Extension in Developing Countries", *Agricultural Economics*, 42(6): 631-647.
- 25.Arouna, A., J. D. Michler, W. G. Yergo, and K. Saito, 2020, "One Size Fits All? Experimental Evidence on the Digital Delivery of Personalized Extension Advice in Nigeria", *American Journal of Agricultural Economics*, 103(2): 596-619.
- 26.Barham, B. L., J. P. Chavas, D. Fitz, V. Ríos-Salas, and L. Schechter, 2015, "Risk, Learning, and Technology Adoption", *Agricultural Economics*, 46(1): 11-24.
- 27.Burke, W. J., E. Frossard, S. Kabwe, and T. S. Jayne, 2019, "Understanding Fertilizer Adoption and Effectiveness on Maize in Zambia", *Food Policy*, Vol. 86: 101721.
- 28.Campenhou, B. V., D. J. Spielman, and E. Lecoutere, 2021, "Information and Communication Technologies to Provide Agricultural Advice to Smallholder Farmers: Experimental Evidence from Uganda", *American Journal of Agricultural Economics*, 103(1): 317-337.
- 29.Deng, X., D. Xu, M. Zeng, and Y. Qi, 2019, "Does Internet Use Help Reduce Rural Cropland Abandonment? Evidence from China", *Land Use Policy*, Vol. 89: 104243.
- 30.Dzanku, F. M., R. D. Osei, P. K. Nkegbe, and I. Osei-Akoto, 2022, "Information Delivery Channels and Agricultural Technology Uptake: Experimental Evidence from Ghana", *European Review of Agricultural Economics*, 49(1): 82-120.
- 31.Fernando, A. N., 2021, "Seeking the Treated: The Impact of Mobile Extension on Farmer Information Exchange in India", *Journal of Development Economics*, 153(484): 102713.
- 32.Gilster, P., 1998, *Digital Literacy*, New York: Wiley, 70-78.
- 33.Harou, A. P., M. Madajewicz, H. Michelson, C. A. Palm, N. Amuri, C. Magomba, and R. Weil, 2022, "The Joint Effects of Information and Financing Constraints on Technology Adoption: Evidence from a Field Experiment in Rural Tanzania", *Journal of Development Economics*, 155(514): 102707.
- 34.Kolko, J., 2012, "Broadband and Local Growth", *Journal of Urban Economics*, 71(1): 100-113.
- 35.Liverpool-Tasie, L. S. O., B. T. Omonona, A. Sanou, and W. O. Ogunleye, 2017, "Is Increasing Inorganic Fertilizer Use for Maize Production in SSA a Profitable Proposition? Evidence from Nigeria", *Food Policy*, 67(2): 41-51.
- 36.Oyinbo, O., J. Chamberlin, T. Abdoulaye, and M. Maertens, 2022, "Digital Extension, Price Risk, and Farm Performance: Experimental Evidence from Nigeria", *American Journal of Agricultural Economics*, 104(2): 831-852.
- 37.Pan, D., and N. Zhang, 2018, "The Role of Agricultural Training on Fertilizer Use Knowledge: A Randomized Controlled

Experiment”, *Ecological Economics*, Vol. 148: 77-91.

38.Saito, K., S. Diack, I. Dieng, and M. K. N’Diaye, 2015, “On-farm Testing of a Nutrient Management Decision-support Tool for Rice in the Senegal River Valley”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 116(5): 36-44.

39.Williamson, O. E., 1979, “Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations”, *Journal of Law and Economics*, 22(2): 233-261.

40.Zheng, H., W. Ma, F. Wang, and G. Li, 2021, “Does Internet Use Improve Technical Efficiency of Banana Production in China? Evidence from a Selectivity-corrected Analysis”, *Food Policy*, 102(1): 102044.

(作者单位: <sup>1</sup> 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院;

<sup>2</sup> 南京农业大学金融学院;

<sup>3</sup> 华中科技大学经济学院)

(责任编辑: 柳 荻)

## **Digital Extension and Farmers’ Fertilizer Reduction: An Empirical Analysis of China’s Major Apple Producing Areas in Shaanxi Province**

MAO Hui LIU Shuwen PENG Peng YANG Zhuoyue

**Abstract:** Fertilizer reduction is an important measure to achieve sustainable agricultural development in China, and digital extension can provide farmers with personalized technology extension services at a lower cost and faster pace. However, empirical evidence on the impact of digital extension on farmers’ fertilizer reduction is still scarce. Based on the survey data of 622 apple growers in major apple producing areas in Shaanxi Province, China, this article analyzes the impact of digital extension on farmers’ fertilizer reduction and its mechanism. The benchmark regression results show that digital extension has a significant inhibitory effect on the cost and amount of fertilizer application. This conclusion remains robust after a series of robustness tests. In terms of action mechanism, the results show that digital extension can reduce the cost and amount of fertilizer application by encouraging farmers to adopt green fertilization technology that can replace traditional chemical fertilizer. Besides, digital extension can reduce the cost and amount of fertilizer application by improving farmers’ awareness of the ecological and economic benefits of fertilizer reduction. Heterogeneity analysis shows that compared with farmers with low digital literacy, digital extension has a greater impact on fertilizer reduction of farmers with high digital literacy. Moreover, compared with small-scale farmers, digital extension has a greater negative impact on fertilizer application costs of large-scale farmers.

**Key words:** Digital Extension; Green Fertilization Technology; Farmer’s Cognition; Fertilizer Reduction