



余威震,冯小雨,罗小锋,王媛媛,胡友战. 数字能力对农户化肥减量行为的影响——基于要素投入与规范操作的探讨[J]. 中国农业大学学报,2026,31(03): 294-307.

YU Weizhen, FENG Xiaoyu, LUO Xiaofeng, WANG Manman, HU Youzhan. Influence of digital ability on farmers' fertilizer reduction behavior: Discussion on factor input and standardized operation[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(03): 294-307.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.03.23

数字能力对农户化肥减量行为的影响 ——基于要素投入与规范操作的探讨

余威震¹ 冯小雨¹ 罗小锋² 王媛媛^{1*} 胡友战³

(1. 三峡大学 经济与管理学院, 湖北 宜昌 443002;

2. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

3. 江西省农业科学院 畜牧兽医研究所, 南昌 330200)

摘 要 为探究数字能力的化肥减量效应,从要素投入和规范操作的双重视角对农户化肥减量行为进行界定,并利用湖北、广西和黑龙江3省(自治区)共1 233份微观数据,实证检验了数字能力对农户化肥减量行为的作用机制。结果显示:1)数字能力对农户配方肥使用行为和规范施肥行为具有显著促进作用,在多种稳健性检验后这一结论依然成立。此外,数字接入和数字创造分别是农户配方肥使用行为和规范施肥行为的关键驱动因素。2)数字能力通过降低信息搜寻成本、推动数字化需求表达和增强扩大种植规模意愿三个机制促进农户化肥减量。3)数字能力的化肥减量效应在中青年、偏好风险、种植规模大的农户群体中更为明显,呈现出包容性不足的特征。4)以要素投入与规范操作同时发生为标准将化肥减量行为重新界定后,数字能力的化肥减量效应依然显著,同时数字创造的影响效应成为最高。为此,应持续推进数字乡村建设,科学引导农民合理利用数字技术,加强数字能力的拓展与延伸,有效发挥数字能力的化肥减量效应。

关键词 数字能力; 化肥减量; 配方肥使用行为; 规范施肥行为; 数字包容性

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2026)03-0294-14

文献标志码 A

Influence of digital ability on farmers' fertilizer reduction behavior: Discussion on factor input and standardized operation

YU Weizhen¹, FENG Xiaoyu¹, LUO Xiaofeng², WANG Manman^{1*}, HU Youzhan³

(1. College of Economics and Management, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences,
Nanchang 330200, China)

Abstract In order to explore the effect of digital ability on fertilizer reduction, this study defines farmers' fertilizer reduction behavior from the dual perspectives of factor input and standardized operation. By using the 1 233 micro data from Hubei, Guangxi and Heilongjiang provinces (autonomous regions), the mechanism of digital ability on farmers' fertilizer reduction behavior was empirically tested. The results show that: 1) Digital ability

收稿日期: 2025-03-04; 接受日期: 2025-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(72203125)

第一作者: 余威震(ORCID:0000-0001-8453-9393), 讲师, 主要从事化肥减量、农村绿色发展、粮食安全研究, E-mail: ywz2011@163.com

通讯作者: 王媛媛(ORCID:0009-0006-2480-1250), 讲师, 主要从事粮食安全、绿色农业研究, E-mail: 1053439490@qq.com

has a significant effect on the application of formula fertilizer and scientific fertilization, and this conclusion is still true after a variety of robustness tests. In addition, digital access and digital creation are key drivers of farmers' use of chemical fertilizers and standardized fertilization behaviors, respectively. 2) Digital capacity promotes the reduction of fertilizer by three mechanisms including reducing the cost of information search, promoting the expression of digital demand and enhancing the willingness to expand the planting scale. 3) The fertilizer reduction effect of digital capacity is more obvious in the young and middle-aged farmers, and the farmers with risk preference and large planting scale, showing the characteristics of insufficient inclusiveness. 4) After the behavior of fertilizer reduction is redefined according to the combination of the factor input and the standard operation, the fertilizer reduction effect of digital capacity is still significant, and the influence effect of digital creation becomes the highest. Accordingly, it is necessary to promote digital countryside continuously, provide guidance for farmers to make rational use of digital technology, strengthen the expansion and extension of digital capacity, and effectively give play to the fertilizer reduction effect of digital capacity.

Keywords digital ability; chemical fertilizer reduction; formula fertilizer use behavior; standard fertilization behavior; digital inclusion

绿色是农业的底色,推动农业绿色发展,不仅是实现农业高质量发展的必然选择,更是实现中国式现代化的题中之义^[1]。2024年7月,中共中央、国务院发布了《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》,明确提出“推动农业农村绿色发展,推进化肥、农药等农业投入品减量增效”。长期以来,国家高度重视农业的绿色转型问题,持续推进面源污染治理、化肥使用量零增长、化肥减量化等系列行动,全国农用化肥施用量连续8年下降,化肥利用率超过41%,农业绿色发展取得了显著成效。但是,我国的化肥亩均施用量仍远高于世界平均水平,肥料利用率与发达国家相比仍有较大差距^[2],三大粮食作物化肥施用量从2015年的361.65 kg/hm²增加至2022年的384.15 kg/hm²^[3],化肥施用强度不降反升,实现化肥减量增效仍然道阻且长。

随着数字乡村建设的快速推进,以“互联网+”为基础的各类数字技术,成为传统要素变革以及农业新质生产力发展的重要动力,并推动农户生产方式和生活习惯的巨大转变。基于物联网、大数据等现代信息技术,数字农业、智慧农业正成为农业未来重要的发展方向^[4],而农产品直播带货、乡村短视频创作等已经成为带动乡村经济发展的重要推动力^[5]。数字经济改变传统经济模式和产业形态的同时,也对农户获取数字信息、掌握数字技术的能力进行了塑造,即以自信、创造性地使用现代信息技术为基本特征的数字能力得以形成和提升,农户的认知能力与思维模式也在悄然转变^[6-7]。深刻理解化肥减量增效行动中数字能力建设所起到的关键性作用,对实现数字化赋能现代农业绿色化转型具

有非常重要的现实意义。

作为数字时代一项必要的生存技能,数字能力得到了学界的广泛关注,尤其是对于长期处于弱势地位的农民群体而言,共享数字经济发展红利显得至关重要。目前,不少学者从家庭收入、收入差距、消费、金融资产配置等维度进行了探讨^[8-10],但也发现因城乡金融发展差距^[6]、收入结构差异^[11]等因素,“数字鸿沟”问题依然存在。关于数字能力与化肥减量行为,有学者研究发现,数字技术的应用提高了农户的信息满足度和生态价值认知,从而促进其采纳测土配方施肥、有机肥等技术^[12],进而减少化肥施用费用和施用量^[13],但这一减量效应存在群体差异,无法对数字素养较低的农户起到显著的助推效果^[14]。不仅如此,受限于研究对象的局限性,已有文献多基于化肥施用强度、亩均化肥施用费用等行为^[13,15],以及测土配方施肥、绿肥种植等技术展开研究^[16-17],以机械深施、种肥同播等施肥方式为研究对象的相对较少,进而未能从要素投入和规范操作的视角,系统探讨数字能力的化肥减量效应。事实上,推进农业投入品减量增效不仅依赖生产要素上的精准施用,同时也需要方式方法上的科学转变。农业农村部2022年发布的《到2025年化肥减量化行动方案》中明确提出,要加快应用侧深施肥机等高效施肥机械,转变表施、撒施等传统施肥方式。然而,现有研究并未关注到这一点,数字能力与农户化肥减量行为之间的逻辑关系有待深化。进一步地,若两者之间存在因果关系,其具体的作用机制是什么?此外,数字化赋能绿色化过程中是否同样会面临“数字鸿沟”困境?

基于此,本研究以要素投入与规范操作的双重视角重新审视农户化肥减量行为,并构建数字能力与农户化肥减量行为的理论分析框架,利用湖北、广西和黑龙江3省(自治区)共1 233份微观数据,运用 Binary Logistic 模型和中介效应模型,实证检验数字能力对农户化肥减量行为的影响,并进一步检验数字能力的异质性影响和作用机制,以期在加深对化肥减量行为内涵的认识和理解的同时,为协同推动农业绿色转型和数字乡村建设提供理论支撑和经验借鉴。

1 理论分析与研究假说

作为一个经济人,农户化肥减量行为决策是在充分考虑家庭资源禀赋、成本收益以及风险大小等基础上所做出的理性选择。无论是配方肥使用行为,还是规范施肥行为,不仅要求农户在认知、观念等方面做出调整与转变,适应绿色发展理念下的农业绿色低碳转型,也需要在物资或服务购买上承担额外的成本支出,以及承担可能的技术风险。数字能力是数字时代下的一项基本技能,从定义上来看,其主要是指合理和有效地利用现代信息通讯技术来获取、评估和利用信息的能力^[10,18]。由此可见,数字能力不单单表示信息通讯技术的普及,更是反映出处理和分析信息的能力^[19],具有多维度、分层次的综合性概念,可以分为数字接入、数字使用和数字创造3个方面^[20]。对于农户而言,数字乡村的建设与信息技术的普及,打破了原先信息闭塞的局面,利用智能手机、电脑等媒介了解到当前国家和地方推行的绿色生产、化肥减量等行动,并随着数字能力的提升,将会主动搜寻和关注与自身生产决策高度相关的信息,例如什么是测土配方施肥,配方肥的施用要求有哪些,机械深施服务如何获取。在这一过程中,农户对化肥减量的认同程度不断加深,采用相应的化肥减量技术、行为的可能性也会随之提高,进而在实际生产过程中有所响应。基于以上分析,提出研究假说1:

H1:数字能力提升对农户化肥减量行为具有显著正向影响。

进一步地,为明确和理清数字能力对农户化肥减量行为的作用机制,本研究主要从3条路径进行剖析:一是,数字能力提升可以降低农户的信息搜寻成本。本质上,数字能力的核心在于收集和利用

各种信息,从简单的互联网接入到利用智能手机、电脑进行上网,甚至利用相关工具和技术手段主动收集化肥减量、绿色农业等信息,在这一过程中农户的数字能力在不断提升。与此同时,农户利用数字工具和数字技术更加熟练,能有效地从海量数据中找到所需的信息,保证信息有效性的同时,也提高了信息搜寻效率,信息搜寻成本不断降低,同时也表现为农户决策成本的降低,这将增加农户化肥减量技术应用的收益空间。出于利润最大化目标,农户化肥减量行为的发生概率也将随之提高。二是,数字能力提升可以推动农户以数字化方式进行技术需求表达。农技推广中服务主体与农户之间往往处于信息不对称的状态,服务供给和服务需求之间不匹配的现象普遍存在^[13]。在农户频繁、持续利用数字技术过程中,尤其是利用手机和电脑搜索肥料使用、环境整治等信息的数字创造活动中,其主观能动性得以激发,基于微信群、公众号等途径进行技术需求表达动机得以增强,有助于获取到与化肥减量直接相关的技术指导、服务供给等信息,从而提高了其参与化肥减量的可能性。三是,数字能力提升可以增强农户扩大种植规模的意愿。如前所述,数字能力是适应数字经济所必须掌握的一项技能,随着农户数字能力的提升,其利用数字技术开展农资线上购买、农产品电商等活动越加顺畅,逐渐认识到数字经济的发展红利,这有助于消除农户因扩大种植规模而可能面临的农产品销售难、单位成本提高等顾虑,为追求更大利润而选择扩大种植规模。扩大种植规模意愿,在一定程度上可以将其理解为农户具有长期从事农业生产的行为倾向,进而更加关注当下农业生产方式的绿色化和可持续问题,从而影响到化肥减量行为的发生概率。基于上述分析,提出以下研究假说:

H2a:数字能力提升通过降低信息搜寻成本,从而促进农户化肥减量。

H2b:数字能力提升通过推动数字化需求表达,从而促进农户化肥减量。

H2c:数字能力提升通过增强扩大种植规模意愿,从而促进农户化肥减量。

大国小农、人多地少的基本国情农情下,农户群体内部呈现出高度的异质性,具体表现在风险态度、种植规模、社会资本等诸多方面。理论上而言,不同的资源禀赋条件决定了农户不同的生产方式,

数字能力对农户化肥减量行为的影响也可能会因群体特征差异而有所不同。以不同的种植规模为例,规模户在社会资源获取、抵御风险能力等各方面会明显优于小农户,追求利润最大化的动机更为强烈,对测土配方施肥、机械深施等新知识、新技术具有更高的需求。数字技术的发展和数字能力的提升,为农户的服务获取、要素购买提供了便利和支持,促使其更快地在实际生产中进行应用。小农户则受限于资源获取能力较弱,追求利润动机有限,数字能力对其化肥减量行为的影响并非立竿见影。与此类似,不同的年龄层次、不同的风险态度,会因所能投入的时间和精力的差异,以及化肥减量相关信息关注程度的差异,造成数字能力对不同群体农户化肥减量行为的影响出现差异。基于以上分析,提出研究假说3:

H3:相较于资源禀赋较差的农户,数字能力提升对资源禀赋较优的农户影响更为显著。

2 数据、变量与模型

2.1 数据来源

本研究采用的数据来自课题组2023年7—8月在湖北、广西和黑龙江3省(自治区)开展的农户微观调查,选取以上地区作为调研区域的主要原因是:一是,中国水稻种植历史悠久,依据各地资源禀赋形成了不同的种植区域,其中湖北、广西和黑龙江分别位于华中双单季稻作区、华南双季稻作区和东北早熟单季稻作区,各区域的种植制度存在明显不同;二是,湖北、广西和黑龙江的经济发展水平存在一定梯度,2022年3省的GDP总量分别位于全国第7、第19和第25位,经济发展水平的不同也会造成农业化肥减量与绿色转型的差异。综上,选取以上区域样本作为研究对象,有利于考察和比较不同的种植制度、经济水平下农户化肥减量行为。结合典型抽样和随机抽样原则,在湖北省选取了潜江市、仙桃市和襄阳市,广西壮族自治区选取了桂林市,黑龙江省选取了绥化市。在确定地市之后,根据乡镇农业经济发展水平在每个市随机选择4~6个乡镇,根据村庄经济发展水平在每个乡镇随机选取3~5个村,最后在每个村随机选取15个农户。同时,为避免种植作物差异对化肥减量行为的影响,实际调查中将对象限定为水稻种植户。调查方式主要以“一对一”访谈式为主,由调查人员向受访农户进行解释,并根据农户的真实回答代为填写,

确保问卷内容的有效性。最终,共调查了29个乡镇(街道、社区)64个村,经筛选和剔除问卷前后矛盾或核心变量缺失的问卷后,共获得有效问卷1 233份。

2.2 变量选取

1)被解释变量。测土配方肥、有机肥等生产要素的有效投入是持续推进化肥减量的前提和基础,但需要注意的是,生产要素投入需要与正确的使用方式相匹配,才能最终充分发挥出应有的作用。为此,本研究从配方肥使用和规范施肥方式2个维度,对农户化肥减量行为进行衡量。其中,以“稻农是否使用了测土配方肥”,即“配方肥使用行为”反映稻农化肥减量过程中生产要素投入情况。相较于传统撒施,肥料深施具备提高化肥利用率、增加作用产量等优势^[21],是实现化肥减量增效的重要途径之一,本研究以“底肥施用环节是否采用了机械深施方式”,即“规范施肥行为”反映稻农化肥减量过程中规范操作情况。

2)核心解释变量。本研究的核心解释变量是数字能力。延续“数字鸿沟”的不同分类,并借鉴相关研究的做法^[6,20],从数字接入、数字使用和数字创造3个维度对数字能力进行系统衡量。具体来说,一是数字接入,数字接入是农户获取数字信息的基础,而智能手机、电脑作为最重要的硬件载体,承担着数字信息传输的媒介功能,为此本研究以“是否使用智能手机/电脑?”作为数字接入的衡量。二是数字使用,若想快速有效地融入数字时代的发展潮流,农户需要跨出关键一步——利用互联网进行相关活动,即以“每天上网时长有多少小时”来衡量农户数字使用情况。三是数字创造,相较于数字使用而言,数字创造是一种更高层次数字能力的体现,反映农户因数字使用的目标差异而带来的行为差异,进而对农户化肥减量行为决策产生不同影响。结合本研究所关注的重点,主要从肥料使用、环境整治、产品销售、物资购买4个方面考察农户的数字创造,即对“您是否利用网络关注和查找有关肥料使用/环境整治/产品销售/物资购买的信息”等问题进行测量,并以农户实际开展过的行为进行加总,作为数字创造的代理变量。最后,基于数字能力各维度变量的衡量,利用因子分析法对数字接入、数字使用和数字创造进行降维,其中KMO值0.635, >0.500, Bartlett球形度检验的卡方统计量为780.259,相应的概率P值为0.00,表明所涉及数据适合进行因子分析。从统计结果来看,样本农户已经逐渐融入数

字化时代,但从数字创造的均值来看,当前仍处于低水平融入阶段,实际调研中也反映出类似问题,基于抖音、微博等APP农户进行更多的是娱乐性活动,与农业生产相关的应用明显不足。

3)机制变量。基于前述理论分析,本研究的机制变量包括3个:信息搜索成本、数字化需求表达、扩大种植规模意愿。具体而言,本研究借鉴有关研究的做法^[18,20],主要考虑基于手机、互联网等数字平台所获取信息的可靠性、真实性等因素,作为信息获取成本的代理变量,即利用问卷中“您认为数字媒介获取信息的可靠性如何”一题进行测量;在数字化需求表达的衡量上,本研究主要关注农户是否可以实现数字能力的迁移,主动表达其实际技术需求,即利用问卷中“是否以QQ群或微信群进行技术需求表达”一题的回答加以反映;扩大种植规模意愿变量则直接以问卷中“是否愿意扩大水稻种植规模”进行测量。从统计结果来看,在信息搜索成本

和扩大种植意愿2个方面,基本呈现出“一般”的平均水平,均值分别为3.080和3.085;而在数字化需求表达方面,样本农户则明显存在不足,仅有少部分农户通过数字媒介进行了技术需求表达,这可能受限于当前农户群体年龄偏大、文化水平不高等因素影响,缺乏利用现代信息技术进行技术、服务类的需求表达。

4)控制变量。作为一个理性经济人,农户化肥减量行为决策不仅会受到数字能力等关键变量的影响,同时也会综合考虑家庭资源禀赋这一重要内源性因素。为此,借鉴相关研究^[13-14,16],本研究主要从个体特征和农业经营特征2个维度选取了相应变量,其中个体特征包括户主年龄、务农年限、健康状况、文化水平、技术培训、风险偏好6个变量,农业经营特征包括种植面积、耕地质量、机耕路、种植目的、农业收入占比5个变量。此外,也加入了地区控制变量,减少不可观测因素的影响(表1)。

表1 变量定义及描述性分析
Table 1 Description of variables and descriptive analysis

变量 Variable	定义 Meaning	均值 Mean	标准差 SD
配方肥使用行为 Formula fertilizer use behavior	是否使用测土配方肥? 是=1;否=0	0.516	0.500
规范施肥行为 Standard fertilization behavior	施用底肥的环节是否进行了机械深施? 是=1;否=0	0.174	0.379
数字能力 Digital ability	基于成分分析法所得	0.000	1.000
数字接入 Digital access	是否使用智能手机/电脑? 是=1;否=0	0.805	0.396
数字使用 Digit usage	每天上网时长, h	1.715	1.411
数字创造 Digital creation	是否利用手机/电脑搜索肥料使用、产品销售、物资购买、环境整治等信息,取值0~4,一项都没=0,四项都有=4	0.775	1.017
年龄 Age	户主实际年龄	57.151	10.469
务农年限 Farming years	户主实际务农年限	35.909	13.646
健康状况 Health condition	户主的实际健康状况,取值1~5,很差=1,很好=5	3.918	1.653
文化水平 Degree of education	户主实际受教育年限	7.941	2.732
技术培训 Technically training	是否参加农业技术培训? 是=1;否=0	0.457	0.498

表 1（续）

变量 Variable	定义 Meaning	均值 Mean	标准差 SD
风险偏好 Risk appetite	风险偏好程度如何？ 取值 1~5, 风险厌恶=1, 风险偏好=5	2. 679	1. 221
种植面积 Plant area	水稻实际种植面积, hm ²	4. 884	8. 349
耕地质量 Cropland quality	较差=1; 一般=2; 较好=3	2. 264	0. 640
机耕路 The farm road	是否通了机耕路？ 是=1; 否=0	0. 742	0. 438
种植目的 Agricultural purposes	水稻种植的主要目的是？ 自用=0; 自用+销售=1, 销售=2	1. 157	0. 705
农业收入占比 Agricultural income share	以农业收入占家庭总收入比重	0. 632	0. 387
信息搜索成本 Information search costs	以数字媒介获取信息的可靠性, 取值 1~5, 非常不可靠=1, 非常可靠=5	3. 080	0. 945
数字化需求表达 Digital demand expression	是否以 QQ 群或微信群进行技术需求表达？ 是=1, 否=0	0. 046	0. 210
扩大种植规模意愿 Willingness to expand the scale of planting	是否愿意扩大水稻种植规模？ 取值 1~5, 非常不愿意=1, 非常愿意=5	3. 085	1. 611

2.3 模型构建

考虑到配方肥使用行为和规范施肥行为均属于典型的二分类变量,为了分析数字能力对农户化肥减量行为的影响,本研究选择了典型的 Binary Logistic 模型进行实证分析:

$$p_i = F(\beta_0 + \beta_1 \text{Digital} + \sum_{j=2}^n \beta_j X_{ij}) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 \text{Digital} + \sum_{j=2}^n \beta_j X_{ij})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \text{Digital} + \sum_{j=2}^n \beta_j X_{ij})} \quad (1)$$

式中: p_i 为农户*i*配方肥使用行为(或规范施肥行为)发生的概率; $F(y_i)$ 为概率分布函数;Digital为数字能力; X_{ij} 为第*i*个农户第*j*个控制变量的取值; β_0 为截距项, β_1 、 β_j 为各变量的偏回归系数。通过对式(1)两边取对数,可得式(2),基于此进行 Binary Logistic 模型回归分析。

$$y_i = \ln(\frac{p_i}{1 - p_i}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Digital} + \sum_{j=2}^n \beta_j X_{ij} + \epsilon_i \quad (2)$$

3 实证结果与分析

3.1 基准回归结果

为避免多重共线性问题对研究结论的影响,本研究在实证分析前对各变量进行了多重共线性检验,检验结果表明各变量的方差膨胀因子(VIF)均<10,表明各变量之间不存在严重的多重共线性问题。同时,为修正参数估计中可能存在的异方差问题,本研究在经典最小二乘估计的基础上采用稳健 M 回归估计方法,回归结果如表 2 和 3 所示。其中,表 2 汇报了数字能力对农户化肥减量行为的回归结果,在配方肥使用行为模型和规范施肥行为模型中卡方值分别为 209.35 和 152.01,均通过了 1% 置信水平下的显著性检验;表 3 汇报了数字能力不同维度对农户化肥减量行为的影响,各模型中卡方值同样均通过了 1% 水平下的显著性检验,表明模型整体估计效果较好,回归结果可靠并具有代表性。

3.1.1 数字能力和化肥减量行为

数字能力在配方肥使用行为模型和规范施肥行为模型中系数分别为 0.325 和 0.640,均通过了

1%置信水平下的显著性检验,表明农户数字能力水平越高,其在水稻种植过程中使用配方肥以及采取机械深施规范施肥方式的概率越大,即数字能力提升可以有效推动农户化肥减量。可能的原因在于,随着数字能力提升,农户融入数字化社会程度

越高,具体表现为思维方式和认知能力的转变与提升^[6],在大量接触和吸收绿色、低碳、可持续等现代生产理念以及测土配方施肥、机械深施等信息后,逐渐从传统农业转向现代化生产,进而表现出对化肥减量行为更高的积极性和参与性。

表2 数字能力对农户配方肥使用与科学施肥行为的实证结果

Table 2 Empirical results of digital ability on the use of formula fertilizer and scientific fertilization of farmers				
变量 Variable	配方肥使用行为 Formula fertilizer use behavior		规范施肥行为 Standard fertilization behavior	
	系数 Coefficient	稳健标准误 RSE	系数 Coefficient	稳健标准误 RSE
数字能力 Digital ability	0.325***	0.079	0.640***	0.122
年龄 Age	−0.026**	0.012	0.010	0.014
务农年限 Farming years	0.025***	0.009	−0.006	0.011
健康状况 Health condition	−0.033	0.047	−0.247***	0.088
文化水平 Degree of education	−0.062**	0.025	−0.012	0.032
技术培训 Technically training	0.723***	0.148	0.091	0.191
风险偏好 Risk appetite	0.130**	0.056	0.319***	0.068
种植面积 Plant area	0.010***	0.002	0.005***	0.001
耕地质量 Cropland quality	0.178*	0.107	−0.467***	0.145
机耕路 The farm road	0.894***	0.170	0.701***	0.241
种植目的 Agricultural purposes	0.182	0.111	0.457***	0.142
农业收入占比 Agricultural income share	−0.283	0.206	−0.764***	0.256
常数项 Constant term	−1.317**	0.669	−2.213**	0.897
样本量 Observation	1 233		1 233	
Wald χ^2	209.35***		152.01***	
Pseudo R^2	0.213 4		0.188 5	

注:***、**和*分别表示变量在1%、5%和10%置信水平下显著。下同。
Note: ***, ** and * indicate significance at 1%, 5% and 10% levels, respectively. The same below.

3.1.2 数字能力分维度指标对农户化肥减量行为的影响

无论是配方肥使用行为模型,还是规范施肥行为模型,数字接入、数字使用和数字创造的系数均为正值,且至少通过了10%置信水平上的显著性检验,表明各维度的数字能力均显著正向影响农户的化肥减量行为。进一步从各系数值大小来看,在配方肥使用行为模型中数字接入最大,数字创造次之,而在规范施肥行为模型中数字创造最大,数字接入次之。可见,数字接入和数字创造的化肥减量效应更为突出。这也不难理解,拥有智能手机、电脑等数字媒介并接入互联网是农户参

与数字经济必不可少的基础和前提,数字使用和数字创造均是基于数字接入展开的。相较于传统的口口相传或书籍资料查询,数字接入极大程度上提高了信息传输的效率,对于部分地处交通闭塞或人际关系简单的人群而言,数字接入甚至实现了农业技术信息传输从零到一的跨越。与此同时,随着数字乡村的持续建设,农户的数字创造能力得到不断提升,有助于其深入了解化肥减量、绿色农业等相关生产理念和技术服务支持,缓解了农户所面临的技术、市场等多维度的信息不对称问题,最终从认知和行为多方面响应农业绿色生产转型(表3)。

表3 数字能力不同维度的实证结果

Table 3 Empirical results of different dimensions of digital capability

变量 Variable	配方肥使用行为 Formula fertilizer use behavior			规范施肥行为 Standard fertilization behavior		
数字接入 Digital access	0.506*** (0.187)			0.494* (0.286)		
数字使用 Digit usage	0.118** (0.055)			0.232*** (0.056)		
数字创造 Digital creation	0.364*** (0.083)			0.614*** (0.081)		
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	1 233	1 233	1 233	1 233	1 233	1 233
Wald chi ²	205.31***	201.64***	212.52***	143.20***	151.26***	173.24***
Pseudo R ²	0.207 4	0.206 2	0.217 5	0.159 7	0.169 7	0.205 3

注:括号内为稳健标准误。下同。
Note: Numbers in parentheses are the standard errors of robustness. The same below.

3.2 稳健性检验

为进一步验证数字能力对推动农户化肥减量具有积极作用这一结论的可靠性,本研究采用多种稳健性检验策略:一是,替换核心解释变量,将“数字能力”中“数字使用”的测量方式由“是否使用智能手机/电脑”调整为“每天使用智能手机/电脑的时长”,使得这一变量反映更多信息,进而对数字能力进行重新因子分析;二是,变量截尾处理,为排除极端值对模型结果的影响,对数字能力变量进行了1%截尾处理;三是,更换回归模型,为排除样本分布带来的估计偏差,选择以Probit模型替换Binary Logistic模型。稳健性检验结果如表4,可知,无论

是配方肥使用行为还是科学施肥行为,数字能力均通过了1%置信水平的显著性检验,表明数字能力的提升可以有效推动农户使用配方肥以及规范施肥,从而助力化肥减量行动,研究结论可靠。

尽管前述已证实数字能力的提升有助于推动农户化肥减量,但考虑到关注绿色发展理念、重视化肥减量实践的农户,本身存在对新知识、新技术的学习和搜寻动机,数字能力随之提升,从而表现出反向因果的关系。此外,农户化肥减量行为受到诸多因素影响,无法控制全部因素,可能面临因遗漏变量而产生的内生性问题。为此,本研究借鉴毛慧等^[13]的做法,选取“同村其余农户数字能力的

均值”作为数字能力的工具变量,并采用 IV-Probit 模型进行检验,回归结果如表 5 所示。内生性检验值分别为 102.57 和 28.35,均通过了 1% 水平下的显著性检验,表明数字能力属于内生解释变量,需要采用工具变量法。第一阶段回归结果中,工具变量系数显著为正,以及 F 值为 41.63,表明工具变量满足相关性要求,同时不存在弱工具变量问题。第二阶段回归结果中,数字能力对配方肥使用行为和规范施肥行为的系数均显著为正,与基准回归结果一致,表明在使用工具变量法解决内生性问题之后,数字能力的化肥减量效应依然存在,假说 1 进一步得到验证。

表 4 稳健性检验结果
Table 4 Results of the robustness test

变量 Variable	配方肥使用行为 Formula fertilizer use behavior			规范施肥行为 Standard fertilization behavior		
	替换变量 Replace variables	变量 1% 截尾 1% truncation of variable	更换模型 Replace the model	替换变量 Replace variables	变量 1% 截尾 1% truncation of variable	更换模型 Replace the model
数字能力 Digital ability	0.243*** (0.053)	0.409*** (0.150)	0.191*** (0.046)	0.447*** (0.073)	1.125*** (0.162)	0.330*** (0.063)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	1 233	981	1 233	1 233	981	1 233
Wald χ^2	214.09***	135.07***	223.73***	156.32***	144.78***	171.91***
Pseudo R^2	0.216 5	0.184 6	0.205 9	0.197 0	0.215 5	0.186 8

表 5 内生性检验结果
Table 5 Results of endogenous tests

变量 Variable	第一阶段 Stage I	第二阶段 Stage II	
	数字能力 Digital ability	配方肥使用行为 Formula fertilizer use behavior	规范施肥行为 Standard fertilization behavior
数字能力 Digital ability		4.128*** (0.952)	2.673*** (0.682)
工具变量:村庄均值 IV:village mean	0.276*** (0.060)		
常数项 Constant term	0.746*** (0.232)	-3.791*** (1.254)	-3.180*** (0.919)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	1 233	1 233	1 233
F -value	41.63***		
Wald test of exogeneity		102.57***	28.35***

3.3 异质性分析

有研究表明,随着数字技术的快速发展,数字鸿沟呈现出进一步加深的趋势,并导致不同群体所面临的数字不公平问题日益突出,难以共享数字发

展红利^[10]。事实上,农户群体中异质性普遍存在,具有不同特征属性的农户在化肥减量过程中是否同样面临“数字鸿沟”困境,即数字能力的不同而导致化肥减量行为出现差异,从而对农业生产效率、

竞争力等产生影响。为此,本研究以风险态度、种植面积和年龄为分类依据,其中按是否偏好风险划分为风险厌恶组和风险偏好组,参照世行标准以及相关学者的做法^[22],按水稻种植面积是否小于 2 hm²将样本划分为小规模和大规模^①,将户主年龄是否小于等于 50 周岁将样本划分为中青年组和老年组。同时,利用似无相关检验对组间差异进行检验,回归结果如表 6 和 7 所示。

表 6 数字能力对农户配方肥使用行为的异质性分析结果
Table 6 Results of heterogeneity analysis of the behavior of formula fertilizer

变量 Variable	以风险态度划分 Divided by risk attitude		以种植面积划分 Divided by planting area		以年龄划分 Divided by age	
	风险厌恶 Risk repugnance	风险偏好 Risk appetite	小规模 Small-scale	大规模 Large-scale	中青年 The young and middle-aged	老年 The older
数字能力 Digital ability	0.244*** (0.088)	0.728*** (0.212)	0.339*** (0.113)	0.356*** (0.132)	0.502** (0.210)	0.276*** (0.089)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	944	289	662	571	304	929
Wald chi ²	248.68***	140.25***	231.10***	87.57***	92.80***	279.20***
Pseudo R ²	0.190 0	0.355 8	0.268 0	0.125 6	0.229 6	0.217 0
系数差异检验 Coefficient difference test	3.95**		0.01		0.86	

注:括号内为标准误。表 7 同。
Note: Numbers in parentheses are standard error. The same in Table 7.

表 7 数字能力对农户规范施肥行为的异质性分析结果
Table 7 Results of the heterogeneity analysis of digital ability on farmers' standardized fertilization behavior

变量 Variable	以风险态度划分 Divided by risk attitude		以种植面积划分 Divided by planting area		以年龄划分 Divided by age	
	风险厌恶 Risk repugnance	风险偏好 Risk appetite	小规模 Small-scale	大规模 Large-scale	中青年 The young and middle-aged	老年 The older
数字能力 Digital ability	0.597*** (0.131)	0.908*** (0.247)	0.149 (0.153)	1.171*** (0.185)	1.465*** (0.315)	0.519*** (0.124)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	944	289	662	571	304	929
Wald chi ²	130.87***	88.30***	56.95***	164.42***	95.11***	149.00***
Pseudo R ²	0.167 4	0.263 5	0.120 7	0.260 4	0.334 4	0.174 6
系数差异检验 Coefficient difference test	1.32		17.26***		9.80***	

①为避免单一标准的影响,本研究也按照 3.33 hm²的标准对样本进行了分组和检验,结果均支持正文中结论。

数字能力对不同群体农户的配方肥使用行为均有显著正向影响,但仅在风险厌恶与风险偏好组间数字能力的影响具有显著差异,其似无相关检验通过了5%水平上的显著性检验,表明具有风险偏好特征的农户在配方肥使用行为决策中受到数字能力的影响程度更大。可能的解释是,风险偏好的农户在面对新产品、新技术时更加敢于尝试,当其通过数字化手段获取到配方肥的技术优势、应用规范等信息时,更易表现出实际使用行为。

除小规模组样本外,其余不同群组中数字能力对农户规范施肥行为均有显著正向影响,但也呈现出资源禀赋越具有优势、数字能力促进作用越明显的特征。具体来看,在大规模组和中青年组中,数字能力系数值均显著大于对应参照组,反映出与资源禀赋相对较弱的农户群体相比,在资源禀赋相对较优的农户群体中,数字能力对其规范施肥行为决策将产生更为显著的促进作用。可能的原因是,资源禀赋较弱的农户受限于因年龄较大、规模较小而带来的经济动机不强,极易造成其对关键信息(例如应用规范、技术效果等)的敏感程度或分析利用

不及资源禀赋相对较优的农户,从而造成数字能力的促进作用较小。

最后,结合前述研究结论,以及考虑配方肥使用、机械深施等行为具有精准施肥、减量增效的属性特征,可以得到一个推论,数字能力在不同群体中对化肥减量行为决策的影响差异,会进一步影响到农户水稻种植效率和收入情况,即数字经济推动农业化肥减量过程中同样面临“数字鸿沟”问题。

3.4 数字能力的作用机制分析

既然前述已证实数字能力对农户配方肥使用行为和规范施肥行为具有显著正向影响,那么这一作用究竟是如何发生呢?为进一步理清数字能力的作用机制,本研究主要从3条路径展开讨论,即数字能力提升是否可以降低信息搜索成本、数字能力提升是否可以促进农户数字化需求表达以及数字能力提升是否可以扩大农户种植规模意愿,并借鉴江艇^[23]的做法,采用“一步法”进行中介效应检验,主要回归结果如表8所示。整体来看,各模型的卡方值均通过了1%水平上的显著性检验,表明模型整体拟合情况较好。

表8 数字能力作用机制检验结果
Table 8 Results of the mechanism of action

变量 Variable	信息搜寻成本 Information search costs	数字化需求表达 Digital demand expression	扩大种植规模意愿 Willingness to expand the scale of planting
数字能力 Digital ability	-0.139*** (0.037)	0.833*** (0.200)	0.077* (0.039)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	1 233	1 233	1 233
Wald chi ²	102.32***	69.38***	278.50***
Pseudo R ²	0.027 4	0.181 0	0.095 3

注:括号内为稳健标准误。下同。
Note: Numbers in parentheses are standard error of robustness. The same below.

路径一:数字能力—信息搜寻成本—化肥减量行为。在信息搜寻成本回归模型中,数字能力系数值为-0.139,通过了1%水平上的显著性检验,表明农户数字能力越强,其面临的信息搜寻成本越低,与陆镜名等^[20]的结论基本一致。数字能力在很大程度上可以反映个体利用互联网进行信息搜寻的能力,当农户数字能力水平越高时,其越易于搜

索到其需要的且可信度高的信息资源,从而降低信息搜寻成本。进一步地,随着信息搜寻成本的降低,农户不仅可以获得有价值的技术信息,例如配方肥的优势、机械深施服务来源等,更重要的是其节省了更多的精力与时间,可以投入到化肥减量与绿色转型过程中。

路径二:数字能力—数字化需求表达—化肥减

量行为。在数字化需求表达回归模型中,数字能力系数值为0.833,通过了1%水平上的显著性检验,表明随着农户数字能力的提升,其进行数字化需求表达的概率越高。可能的解释是,当农户的数字能力不断提升,通过互联网所了解到的化肥减量、绿色农业相关信息越多,而这进一步会激发起农户的求知欲,进而尝试利用微信群、QQ群进行技术咨询和需求表达。从一个侧面也反映出,数字能力的提升可以有效激发农户的主观能动性,实现以需求为导向推动农技推广和农技服务的重大改革。当农户进行需求表达后,则有更大的概率可以了解到测土配方施肥的技术特征、获得科学施肥的指导和服务,从而最终实现化肥减量。

路径三:数字能力—扩大种植规模意愿—化肥减量行为。在扩大种植规模意愿回归模型中,数字能力系数值为0.077,通过了10%水平上的显著性检验,表明数字能力对农户扩大种植规模意愿具有显著正向影响。随着数字技术的快速发展以及农业现代化的快速推进,数字能力逐渐成为农业生产经营过程中非常重要的一种技能。农户数字能力越强,其越能适应现代农业的发展趋势,参与土地流转实现规模经营的可能性也就相对越大。一旦农户倾向于扩大规模、长期生产,其势必会对耕地可持续问题更加关注,尤其是化肥的减量增效,减

少或规避耕地酸化、板结等情况的发生,进而在实际中选择使用配方肥、机械深施肥等行为。

3.5 进一步探讨:数字能力对农户化肥减量行为的综合效应

严格意义上,实现化肥减量增效不仅仅依靠有机肥、配方肥等新型要素投入,同时也非常依赖农艺上的转变,即采用机械深施、水肥一体化等方式进行肥料管理。为此,在这一部分将“农户既使用配方肥,同时采取机械深施的规范施肥方式”定义为化肥减量行为,以此考察数字能力对农户化肥减量行为的综合效应。一方面,从样本统计结果来看,仅有183个样本农户采取了化肥减量行为,占总样本的14.84%,由此可见在当前化肥减量行动中多关注要素或农艺某一个方面,对两者的衔接与融合略显不足。另一方面,从实证结果来看(表9),数字能力系数值为0.608,通过了1%置信水平下的显著性检验,表明农户数字能力水平的提高,其采用化肥减量行为的可能性越高。同时,数字能力各维度对农户化肥减量行为系数均为正值,且至少通过了10%水平上的显著性检验,表明各维度的数字能力同样促进农户化肥减量行为的发生。值得注意的是,数字创造的系数值最大,达到0.571,反映出数字创造对推动农户化肥减量过程中的重要作用。正如前述,数字创造赋予了农户更大的主动性和创

表9 数字能力对化肥减量行为的实证结果
Table 9 Empirical results of digital capacity on fertilizer reduction behavior

变量 Variable	化肥减量行为 Chemical fertilizer reduction			
数字能力 Digital ability	0.608*** (0.124)			
数字接入 Digital access		0.497* (0.298)		
数字使用 Digit usage			0.217*** (0.056)	
数字创造 Digital creation				0.571*** (0.082)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 Observation	1 233	1 233	1 233	1 233
Wald chi ²	119.58***	115.31***	118.86***	142.84***
Pseudo R ²	0.172 6	0.147 0	0.155 4	0.186 6

造性,在与数字要素交流互动中个人认知和综合素质得到有效提升,有助于农户理解绿色要素与先进农艺融合的重要性,从而做出更优的生产决策。

4 结论与启示

4.1 研究结论

随着数字乡村的快速推进,数字能力成为农户必须掌握的一项技能,并对其农业生产决策产生了重要的影响。基于要素投入和规范操作的细分视角,本研究利用湖北、广西和黑龙江3省(自治区)共1 233份微观调查数据,研究数字能力对农户化肥减量行为的效应及作用机制,得出以下结论:1)数字能力提升对农户配方肥施用行为和规范施肥行为具有显著促进效应,在采用替换核心解释变量、剔除部分样本和改变回归模型等多种稳健性检验后,以上结论依然成立。2)数字接入、数字使用和数字创造均会对农户化肥减量行为产生显著正向影响,其中数字接入对农户配方肥使用行为的影响效应最大,数字创造对农户规范施肥行为的影响效应最大。3)异质性分析表明,对于资源禀赋相对较优的农户而言,数字能力的化肥减量效应更为突出。其中,在配方肥施用行为上,数字能力在风险态度组间存在显著差异,而在规范施肥行为上,数字能力在种植规模组间和年龄组间存在显著差异。4)机制分析发现,数字能力主要通过降低信息搜寻成本、推动数字化需求表达以及增强扩大种植规模意愿3条路径来促进农户化肥减量。5)将“配方肥施用和规范施肥同时发生”定义为化肥减量行为之后,数字能力的化肥减量效应同样显著。

4.2 政策启示

基于以上研究结论,为进一步发挥数字能力对农户化肥减量的积极效应,得到以下启示:一是,持续推进数字乡村的建设,不断提高农户的数字能力。随着村村通工程的全面落实,传统的信息通讯接入问题已得到有效解决,如今应将重点放在如何利用数字技术问题之上,尤其是利用数字技术主动进行信息搜寻、电商参与等数字创造活动,拓展农户数字技术应用场景。二是,科学引导农户合理使用数字技术,切实发挥数字能力的化肥减量效应。数字时代下农民所关注的不应局限于各类娱乐信息,通过制度约束、资金补助等形式鼓励和支持农技人员、技术专家开展直播培训,传授最新技术知

识的同时,引导农户主动关注化肥减量、绿色农业、中国式现代化等内容。三是,着重提升低资源禀赋农户的数字能力,加大对相关群体的知识普及和技能培训,并借鉴“先富带后富”的发展理念,通过传帮带吸引资源禀赋较差的农户参与到数字技术促进农业化肥减量行动中来,缩小数字鸿沟、共享数字经济发展红利。四是,加强数字能力的迁移与延伸,积极发挥在促进农户数字化需求表达、扩大种植规模意愿等方面作用。依托各地数字乡村平台,嵌入“化肥减量需求集市”,农户可发布个性化需求(如特定作物专用肥、有机肥替代方案),农资企业、服务主体通过竞标方式提供解决方案。

参考文献 References

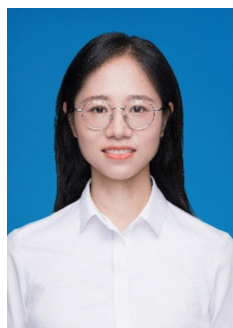
- [1] 尹昌斌,李福寿,王术,郝艾波. 中国农业绿色发展的概念、内涵与原则[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(1): 1-6
Yin C B, Li F D, Wang S, Hao A B. The concept, connotation and principle of agricultural green development in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(1): 1-6 (in Chinese)
- [2] 陆钰凤. 中国化肥减量政策变迁及其内在逻辑[J]. 农业经济问题, 2022(9): 74-85
Lu Y F. The policy change of chemical fertilizer reduction and its internal logic in China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2022(9): 74-85 (in Chinese)
- [3] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益汇编 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023
National Development and Reform Commission Price Department. *National Agricultural Product Cost and Benefit Compilation 2023* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023 (in Chinese)
- [4] 赵路鑫,林海. 数字乡村发展政策实施能否推动革命老区农业新业态创业活动[J]. 中国农村经济, 2024(7): 141-160
Zhao L B, Lin H. Does the implementation of digital rural development policy promote entrepreneurial activities in new agricultural business formats in old revolutionary base areas [J]. *Chinese Rural Economy*, 2024(7): 141-160 (in Chinese)
- [5] 黄季焜,苏岚岚,王悦. 数字技术促进农业农村发展:机遇、挑战和推进思路[J]. 中国农村经济, 2024(1): 21-40
Huang J K, Su L L, Wang Y. Digital technologies facilitate agricultural and rural development: Opportunities, challenges, and future directions [J]. *Chinese Rural Economy*, 2024(1): 21-40 (in Chinese)
- [6] 王小华,刘云,宋檬. 数字能力与家庭风险金融资产配置[J]. 中国农村经济, 2023(11): 102-121
Wang X H, Liu Y, Song M. Digital capability and household risk financial assets allocation [J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(11): 102-121 (in Chinese)
- [7] 孙子辉,宫思羽,余志刚. 数字素养对农户绿色生产技术采纳的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(4): 12-26
Sun Z Y, Gong S Y, Yu Z G. Influence of digital literacy on farmers' green production technology adoption behavior [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(4): 12-26 (in Chinese)
- [8] 曾亿武,张增辉,方湖柳,郭红东. 电商农户大数据使用:驱动因素与增收效应[J]. 中国农村经济, 2019(12): 29-47
Zeng Y W, Zhang Z H, Fang H L, Guo H D. The driving forces and income-added effects of big data usage by rural e-commerce households [J]. *Chinese*

- Rural Economy*, 2019(12):29-47 (in Chinese)
- [9] Goldfarb A, Tucker C. Digital economics [J]. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1): 3-43
- [10] 王汉杰. 数字素养与农户收入: 兼论数字不平等的形成[J]. 中国农村经济, 2024(3):86-106
- Wang H J. Digital literacy and rural household income: the formation of digital inequality[J]. *Chinese Rural Economy*, 2024(3):86-106 (in Chinese)
- [11] 刘渊博, 温涛. 数字素养与农户收入差距: 加剧还是缓解: 基于中西部地区的微观证据[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2024, 24(4):91-101
- Liu Y B, Wen T. Digital literacy and the income gap among farmers: exacerbation or alleviation: Based on micro-evidence from the central and western regions[J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2024, 24(4):91-101 (in Chinese)
- [12] 熊飞雪, 饶盼, 章磊, 朱述斌. 数字技术应用对粮食种植户绿色生产行为的影响[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(4):257-268
- Xiong F X, Rao P, Zhang L, Zhu S B. Influence of digital technology application on grain growers' green production behavior[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(4): 257-268 (in Chinese)
- [13] 毛慧, 刘树文, 彭澎, 杨焯月. 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[J]. 中国农村经济, 2023(2):66-84
- Mao H, Liu S W, Peng P, Yang Z Y. Digital extension and farmers' fertilizer reduction: An empirical analysis of China's major apple producing areas in Shaanxi Province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(2):66-84 (in Chinese)
- [14] 张红丽, 李洁艳, 祝振华. 数字技术使用对粮农化肥减量的影响效应与作用机制[J]. 农村经济, 2023(11):25-34
- Zhang H L, Li J Y, Zhu Z H. Effect and mechanism of effect of digital technology use on fertilizer reduction in food and agriculture [J]. *Rural Economy*, 2023(11):25-34 (in Chinese)
- [15] 梁志会, 张露, 张俊彪. 土地转入、地块规模与化肥减量: 基于湖北省水稻主产区的实证分析[J]. 中国农村观察, 2020(5):73-92
- Liang Z H, Zhang L, Zhang J B. Land inward transfer, plot scale and chemical fertilizer reduction: an empirical analysis based on main rice-producing areas in Hubei Province[J]. *China Rural Survey*, 2020(5):73-92 (in Chinese)
- [16] Yu W Z, Luo X F. Farming experience and farmers' adoption of low-carbon management practices: The case of soil testing and fertilizer recommendations in China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29: 6755-6765
- [17] 耿宁, 潘佳燕. 农业生产托管如何影响农户绿色技术采纳[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(4):210-220
- Geng N, Pan J Y. How does agricultural production trusteeship influence farmers' adoption of green technologies[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2024, 34(4):210-220 (in Chinese)
- [18] Dijk V. The deepening divide: inequality in the information society[J]. *Mass Communication & Society*, 2005. DOI:10.4135/9781452229812
- [19] Scheerder A, van Deursen A, van Dijk J. Determinants of internet skills, uses and outcomes. A systematic review of the second-and third-Level digital divide[J]. *Telematics and Informatics*, 2017, 34(8): 1607-1624
- [20] 陆镜名, 仇焕广, 苏柳方, 刘敏. 数字能力能否促进牧户增收: 来自典型牧区的经验证据[J]. 中国农村经济, 2023(12):85-105
- Lu J M, Qiu H G, Su L F, Liu M. Do digital capabilities enhance herdsman's income: Empirical evidence from typical pastoral areas[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(12):85-105 (in Chinese)
- [21] 梁海, 陈宝成, 韩慧芳, 王少博, 王桂伟, 陈剑秋. 普通肥、控释掺混肥分层施肥对小麦生长的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(4):240-245
- Liang H, Chen B C, Han H F, Wang S B, Wang G W, Chen J Q. Effects of layered application of common fertilizer and controlled-release bulk-blend fertilizer on wheat growth[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(4):240-245 (in Chinese)
- [22] 卢洋啸, 孔祥智. 改革开放以来小农户与现代农业有机衔接的探索: 文献综述视角[J]. 经济体制改革, 2019(6):89-95
- Lu X Y, Kong X Z. Exploration of organic connection between small farmers and modern agricultural development since reform and opening-up: From the perspective of literature review[J]. *Reform of Economic System*, 2019(6): 89-95 (in Chinese)
- [23] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120
- Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. *China Industrial Economics*, 2022(5):100-120 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 余威震, 博士, 三峡大学经济与管理学院讲师。主要从事化肥减量、农村绿色发展、粮食安全等领域研究。主持国家自然科学基金青年项目(72203125), 参与国家自然科学基金项目、国家社会科学基金项目和教育部分人文社科规划项目等各类项目10余项, 以第一作者在《农业技术经济》《资源科学》等期刊发表论文10余篇, 出版学术专著1部, 以副主编身份编写教材1部, 近年来围绕化肥减量等相关主题的研究形成系列成果。



通讯作者简介: 王嫚嫚, 博士, 三峡大学经济与管理学院讲师。主要从事粮食安全、农村绿色发展等领域研究。主持农业农村部软科学项目、湖北省社科基金一般项目等省部级项目3项, 参与国家社科重点项目、国家社科一般项目、教育部分人文社科等省部级以上项目8项, 出版专著1部, 在《农业技术经济》《经济地理》《资源科学》等期刊发表论文10余篇。兼任三峡智库专家、湖北省农村经济学会理事、湖北省农村软科学研究会理事等。