中国农业大学学报 2024,29(4):01-11
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

胡南燕,胡永浩,罗屹,武拉平.农户数字素养提升能降低小麦储存损失吗?[J].中国农业大学学报,2024,29(04):1-11.
HU Nanyan, HU Yonghao, LUO Yi, WU Laping. Can improving farmers' digital literacy reduce wheat storage loss?[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(04): 1-11.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.04.01

农户数字素养提升能降低小麦储存损失吗?

胡南燕[1] 胡永浩[1] 罗 屹[2] 武拉平[1*]
(1. 中国农业大学 经济管理学院,北京 100083;
2. 国家发展和改革委员会 价格成本调查中心,北京 100045)

摘 要 为探究数字素养对中国粮食储存损失的影响机理,充分发挥信息化手段节粮减损作用,利用2022年中国16省645户农户调研数据,运用工具变量法分析农户数字素养提升对小麦储存损失的影响。结果表明:中国农户小麦储存损失的平均水平为1.79,西北地区农户储存损失水平明显高于其他地区。农户数字素养的提升能显著降低小麦储存损失,且该影响主要体现在收入水平高、劳动力资源充足的农户群体中。在克服内生性偏误后,研究结果依然稳健。因此,政府应完善信息基础设施建设、加快数字应用技能的普及,从而提升农户数字素养,减少农户储存损失,全方位夯实粮食安全根基。

关键词 数字素养;储存损失;高收入家庭;劳动力资源;粮食安全
中图分类号 F323.3 **文章编号** 1007-4333(2024)04-0001-11 **文献标志码** A

Can improving farmers' digital literacy reduce wheat storage loss?

HU Nanyan[1], HU Yonghao[1], LUO Yi[2], WU Laping[1*]
(1. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Center for Price Cost Investigation, National Development and Reform Commission, Beijing 100045, China)

Abstract In order to investigate the impact of digital literacy on grain storage losses in China and reduce grain losses by fully utilization of information technology. The data are from a survey on 645 Chinese farmer households in 2022. The instrumental variable method was employed to investigate the impact of improved digital literacy among farmers on wheat storage losses. The results indicated that: The average level of wheat storage losses among Chinese farmers was 1.79, and the highest level was observed in the northwest region. The enhancement of farmers´ digital literacy significantly reduced wheat storage losses, and its impact is mainly evident among the farmer households with higher income levels and abundant labor resources. The research findings remained robust even after addressing endogeneity bias. Therefore, the government should improve information infrastructure construction, accelerate the popularization of digital application skills, enhance the digital literacy of farmers, so as to reduce storage losses for farmers and strengthen the foundation of food security comprehensively.

Keywords digital literacy; wheat storage losses; high-income family; labor resources; food security

收稿日期:2023-05-11
基金项目:国家社会科学重大项目(22&ZD087)
第一作者:胡南燕(ORCID:0009-0003-8284-4521),博士研究生,E-mail:1455203480@qq.com
通讯作者:武拉平(ORCID:0000-0002-9845-6879),教授,主要从事粮食经济与农产品市场研究,E-mail:wulp@cau.edu.cn

粮食储备是国家储备的关键组成部分，是应对粮食安全、打牢经济社会发展基础的稳压器[1]。农户储粮作为中国粮食储备体系的重要组成部分，其储粮规模约占年产量的50%以上①。一方面，在农村地区，由于储粮设施相对简陋，容易导致粮食产生霉变、生虫、鼠食等问题；另一方面，农户缺乏储粮管理知识，不仅在粮食存放后疏于管理，且缺乏有效的防治手段，难以达到储粮的理想效果，造成大量的粮食损失。据调查，中国农户粮食储存期间的损失大约为8%左右②，甚至个别地区更高，严重威胁国家粮食安全。为减少储粮损失，中央及地方政府实施了一系列针对性政策，并获得良好成效，例如科学储粮专项行动的推行，使农户储粮损失率平均下降6%，减少农户储粮损失11.5亿kg[2]，实现另一种形式的“增产”。在粮食供需长期处于紧平衡状态下，减少储粮损失是维持粮食供求平衡、保障国家粮食安全的重要路径选择。

随着国家数字化战略的不断推进，农户的数字信息应用能力稳步提高，其所面临的信息限制也得到逐步缓解，这对储粮损失产生重要影响。《中国互联网络发展状况统计报告》③指出，截至2022年12月，我国农村网民规模达到3.08亿，农村地区互联网普及率提高到61.9%。在数字信息的浸染下，农户数字信息应用水平得到提升，能够优化农户的储粮行为。一方面，数字素养的提升利于打破信息壁垒，农户可以便捷获取多样化的储存知识、技术，优化家庭储粮资源的配置；另一方面，数字素养提升有效缓解信息不对称困境，降低储存经营环节的交易成本，从而提高经济效益。因此，深入分析数字素养对储粮损失的影响，促使数字化在储粮上充分发挥其重要作用，释放节粮减损潜力，为保障国家粮食安全提供重要途径。

然而，现有关于粮食储存损失影响因素的研究，大多聚焦于农业生产经营特征[3-5]、储存特征[6-8]、家庭流动性约束[9-10]、粮食市场等方面[11]。在农业数字化建设已经纳入国家顶层设计层面的背景下，数字素养在粮食储存环节的应用为稳定粮食供应增添新契机，但现有研究尚未解答数字素养是否影响粮食储存损失以及影响程度如何的问题。同时，由于农户存在资源禀赋差异，数字素养在发挥储粮减损作用时呈现异质性效应，但鲜有研究考察其存在何种异质性。对此，本研究试图回答以下问题：农户数字素养对粮食储存损失产生何种影响？该影响是否因家庭收入约束和劳动力资源存在异质性效应？上述问题的解答不仅能为充分发挥数字素养的节粮减损作用提供经验证据，同时也有助于降低储粮损失，为增加粮食总供给、保障粮食安全贡献新思路。

鉴于此，本研究采用2022年中国16省645户调研数据，选取小麦作为粮食作物的种类代表，从理论和实证方面探究数字素养对小麦储存损失的影响，进一步地，解析其在不同资源禀赋约束条件下的异质性效应，以期从数字信息应用角度为减损提供新思路。

1 理论分析与研究假说

1.1 概念界定

参考现有研究[12-13]，本研究将数字素养定义为：在数字化情境下，农户在农业生产实践中具备有关数字知识和数字能力的综合能力，内涵可以分为3个层次：第一层次是获取和理解数字信息和服务，如获取天气信息；第二层次是掌握基本的数字技能，包括在网络上检索农业信息、在网络上参与经济活动；第三层次是运用数字的信息和服务，重新配置农业资源，优化农业生产配置。该概念主要强调农户使用数字工具检索农业信息、知识，并在互联网平台上进行农业知识交流、资源共享的能力。

粮食产后损失是指：在粮食产后系统中，在各个环节上可观测的粮食减少，主要体现为数量的减少和质量的降低[14]。本研究中的粮食储存损失，特指发生在粮食产后前端储存环节的损失。粮食产后前端储存环节损失所涉及的行为主体为农户，损失发生在从粮食入库储存到出库销售过程中，损失产生的主要原因是鼠害、霉变、储存设施落后、温度和湿度控制不当、农户缺乏储粮知识和技能、缺少储粮期间的管理工作及防治措施（化学防治、物理

①数据来源：国家粮食和物资储备局，http://www.lswz.gov.cn/html/zt/lswzcbkjhdz2023/2023－06/28/content_275214.shtml.

②数据来源：https://news.gmw.cn/2020－09/08/content_34163583.html.

③该报告特指第51次《中国互联网络发展状况统计报告》，该报告由中国互联网络信息中心(CNNIC)于2023年3月2日发布，https://www.cnnic.net.cn/n4/2023/0303/c88－10757.html.

防治、生物防治）等等，损失的具体表现为储存粮食数量的减少。

1.2　理论分析及研究假说

1.2.1　数字素养提升对农户小麦储存损失

信息搜寻理论表明，农户生产决策主要受限于信息、生产成本的约束。农户利用数字工具及时获取低成本、科学有效的储粮知识，优化家庭可支配的资源，降低储粮损失。一方面，在生产实践中，农户在储粮过程中受到信息约束，无法及时提升储粮经营管理水平。而数字工具的使用拓宽农户获取信息来源，且提高农户获取信息的效率，增加其储粮的知识储备，降低储存环节的损耗。另一方面，数字平台向农户及时传输天气等信息，降低粮食储存潜在风险，减少粮食存储损失。具体分析为：

第一，数字素养有助于降低农户的交易成本，进而减少小麦储存损失。根据契约农业理论，农业生产的交易成本包括搜寻成本、获取成本和谈判成本[15]，数字素养缓解农户在市场交易过程信息不对称，降低农户采用先进储存设备的交易成本，降低粮食储存损失。首先，数字素养降低农户搜寻成本。数字素养不仅优化农户信息配置效率，提升农户储粮管理水平，还为农户提供信息服务平台，帮助农户在微信群、QQ群里进行储粮知识的学习。其次，数字素养降低农户获取信息的门槛，使农户及时获取先进储粮技术等丰富信息，掌握最新储粮知识新动态，实现储粮资源的优化配置。最后，数字素养降低谈判成本。调整其在储粮环节投资策略，可以便捷利用数字平台了解储粮投入要素的价格信息，享受竞争性定价带来的价格优惠[16-17]，同时数字平台的透明化使农户可以清晰对比产品系数[18]，汲取其他购买者的相关评价信息，以适宜价格获取投入要素，如农户利用APP和小程序购买先进储存设施。

第二，数字素养增加农户小麦知识供给，减少其储粮损失。数字素养向农户提供个性化储存建议，为储粮管理活动提供信息指导，增强农户对储粮技术的了解和掌握程度，促进农户采用先进储存技术，实现储粮损失减量。同时，农户通过数字平台获取多种类型信息，实现多样化信息需求，如在网站、移动应用上获取储存知识，把握最新农业技术采用动态。此外，数字素养使农户在线上交流与学习，及时获取、解释和整合粮食储存信息，不断更新储粮的最新资讯，构建粮食储存知识系统，优化储存管理活动的资源配置效率。

第三，数字素养拓宽农户信息获取渠道，优化其接受信息的质量。数字平台将天气等信息及时高效反馈给农户，农户得以及时调整储存策略，避免因极端天气引发潮湿霉变等存储损失，减缓外部冲击对储粮损失的影响，使粮食存储损失最小化。并且当农户面临小麦储存难题时，实时通过数字设备获取可靠解决方案，减少因信息获取滞后引发的储粮损失。

上述作用机制相互渗透，共同作用于小麦储存损失。从上述分析，提出如下研究假设：

研究假设1：数字素养提升能够显著减少小麦储存损失。

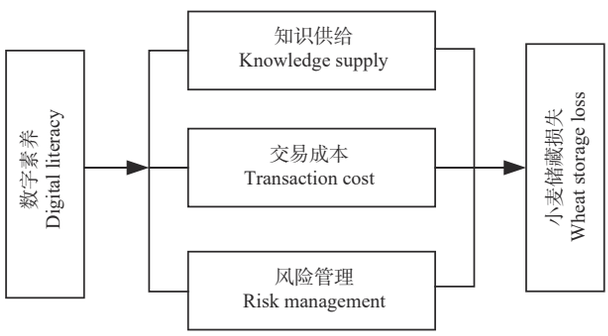

图1　农户数字素养提升对小麦储存损失的影响机制

Fig.1　Influencing mechanism on the impact of improved digital literacy among farmers on wheat storage loss

1.2.2　数字素养对小麦储存损失的异质性效应

在现实中，农户在资源禀赋上存在明显异质性，由此导致个体间的数字素养能动性以及经济效应等方面存在差异。社会实践理论认为，资本是一组可被使用的资源和权力，资本状况会影响个体的实践活动和行为选择[19]。本研究将资本分解为家庭收入和劳动力资源2个方面，探讨数字素养对小麦储存损失产生的异质性效应。

从家庭劳动力资源来看，考虑到部分农户拥有较大的小麦储存规模，在储粮实践过程中存在诸多环节需要多人协作完成，意味着农户拥有科学储粮知识储备后，在将知识付诸实践时仍需要劳动力辅助完成，若受到劳动力资源的制约，农户难以将储存知识付诸于实践，引致数字素养的节粮减损作用无法得到发挥。

从家庭收入约束来看，数字化平台能够降低农户储存投入要素的交易成本，这将刺激农户增加储存要素投入，且通过直接匹配买卖双方，排除交易过程中间商盘剥[20]，以较低交易成本匹配到符合需求的储粮要素。反之，当农户面临经济约束时，数字化平台可能会增加农户的投资意愿，但难以在短期内加大储粮要素投入，且考虑到储粮设施具有资产专用性特征，在购置后只能用于小麦储存，无法应用于其它生产环节，导致数字素养难以对低收入家庭的农户产生显著降低作用。因此，农户数字素养提升对小麦储存损失的影响，主要表现在资源禀赋更加充足的农户上，因此对家庭收入不同的农户产生异质性影响。

综上所述，本研究提出以下有待实证分析检验的研究假说2：

研究假说2：数字素养提升对小麦储存损失的降低作用，体现在资源禀赋充足的农户。

2 研究设计

2.1 数据来源

本研究数据来源于国家发展改革委员会价格成本调查中心收集的数据，此次调研数据时间为2022年10月，主要在中国粮食主产区展开。调研过程为：国家发展改革委员会价格成本调查中心联系各省（市、自治区）发展改革委成本机构，由各省（市、自治区）成本机构联系专门的调查农户，通过网络将调研问卷、填报讲解视频转发给农户。本次调查内容主要涉及小麦种植户的家庭收入、数字工具应用能力、农户储备和粮食产后损失等信息，能够较好地满足本研究的需要。

小麦是中国主要的粮食作物之一，在粮食总产量中占比为20%，因此选择小麦作为粮食作物的代表。此次调研区域涵盖黄淮海地区、长江中下游地区、西南地区、西北地区和东北地区等小麦优势种植主产区（表1）。

表1 小麦主产区划分及样本省份

Table 1 Wheat advantage production area division and sample province

小麦主产区 Major wheat-producing region	省份/地区 Province/Region	样本省份 Sample province
黄淮海地区 Huanghuaihai region	河北、山东、北京、天津全境、河南中北部、江苏和安徽北部，山西中南部，陕西关中地区	河北、天津、山西、山东、河南、江苏、安徽、陕西
长江中下游地区 The Yangtze river basin	江苏、安徽的淮河以南，湖北北部，河南南部	江苏、安徽、湖北、河南
西南地区 Southwest region	四川、重庆、云南、贵州等省（市）	四川、云南
西北地区 North-west region	甘肃、宁夏、青海、新疆全境，陕西北部，内蒙古	甘肃、青海、宁夏、新疆、陕西、内蒙古
东北地区 North-east region	黑龙江、吉林、辽宁全境，内蒙古东部	内蒙古

2.2 样本分析

为准确掌握各个区域的小麦储存损失水平，本研究分析各个地区储存损失水平。表2为各个地区小麦储存损失水平和有效样本量。其中各个地区小麦储存损失水平通过计算该地区调查样本损失水平的算数平均值所得。从表2可知：第一，各个区域小麦储存损失水平存在较大差异，如华东地区小麦平均损失水平为1.64，而西北地区小麦平均损失水平为2.01。第二，此次调研共计645户小麦种植户，小麦的平均储存水平为1.79，该数值与现有公开数据的小麦储存损失水平较为接近。具体而言：一是根据中国农业农村部提供的最新公开数据，在2019年，全国小麦储存损失水平为2.8，由于此次调查是针对全国省份，会高于本研究计算得出的数值。二是根据对比现有研究，罗屹等[21]在28个省份开展的调研发现小麦的储存损失水平为1.86，该数

据为2016年的调研数据，本研究利用的是2022年数据，随着先进储存设施的普及，与之相差0.07，较为贴近现实情况。由此可知，本研究计算得出的小麦储存损失水平较为合理。

本研究按照小麦平均储存损失水平的高低划分为3个区间：<1.5为较低损失水平，1.5～2为中等损失水平，>2为较高损失水平。从表2可知，华东地区的平均损失水平为1.3，位于较低损失水平。中南、华北地区、西南地区小麦的平均损失水平分别为1.53、1.64和1.86，均位于中等损失水平。西北地区小麦的平均损失水平为2.01，位于较高损失水平。西北地区小麦储存平均损失水平远远高于中南地区和华北地区的小麦储存损失水平，可能原因在于：相较于中南地区和华北地区，西北地区农户的经济条件较为落后，受限于家庭收入约束，不仅在先进储存设备的采纳上较为滞后，也缺乏获取先进储存知识的信息渠道，致使小麦在储存过程中产生大量损失。

表2　小麦平均储存损失率和样本量分布

Table 2　Distribution of average storage loss rates and sample sizes for wheat

区域 Region	省份 Province	小麦平均损失水平 Average wheat loss	样本量 Observation
华北 North China	天津、河北、山西、内蒙古	1.64	128
华东 East China	江苏、安徽、山东、浙江	1.33	114
中南 Central South	湖北、河南	1.53	103
西南 Southwest China	四川、云南、贵州、重庆	1.86	40
西北 Northwest China	宁夏、甘肃、青海、陕西、新疆	2.01	260
全国 China		1.79	645

2.3　变量选择

2.3.1　被解释变量

本研究的被解释变量为小麦储存损失水平。借鉴现有研究的做法，小麦储存损失水平通过储存损失数量除以储存总量加上储存损失数量得到，即：

$$\text{Storage_loss}=\frac{\text{storgae_loss}}{(\text{storgae_loss}+\text{storgae})}\times 100\% \tag{1}$$

2.3.2　核心变量

本研究用数字素养综合指标衡量农户的数字素养。褚宏启[22]认为素养C（Competencies）主要由知识K（Knowledge）、技能S（Skills）、态度A（Attitudes）3方面组成，具体公式为：$C=(K+S)A$。将素养的内涵拓展到数字素养领域，数字素养主要是指个体在经济生活中，通过数字技术，安全、恰当地定义、获取、管理、整合、传播、评估和创建信息的能力[23]。在前期，数字素养的定义为个体理解和使用来自各种数字资源的信息能力，之后联合国教科文组织将其定义为："面向就业、获得体面工作及创业，使用数字技术获取的计算机素养、信息通信技术素养、信息素养和媒介素养等能力"[24]。在借鉴上述研究的基础上，再结合苏岚岚等[25]、高欣峰等[26]的研究，从农户数字获取能力、数字应用能力、数字共享能力3个维度构建农户数字素养的评价指标体系，数字素养测度的题项如表3。其中，利用"使用数字工具收款、花钱、购买商品"度量数字应用能力，选取原因为：研究目标在于考察农户参与经济活动购买储粮所需的要素投入，因此数字应用能力体现在农户参与经济活动上，因此只选取这2个问题来度量数字应用能力。

本研究运用因子分析法将数字获取能力、数字应用能力和数字共享能力合成数字素养综合指标，具体步骤为：首先，检验模型适用性，检验得出数字素养的KMO统计量为0.832，Bartlet球形度检验的近似卡方值为1 632.15（sig=0.000 0），达到1%的显著性水平，说明适合做因子分析；其次，将特征值>1的特征值作为公因子，确定因子数量为5个。

表3 农户数字素养指标体系

Table 3 Index system of digital literacy for farmers

维度指标 Dimensional metrics	测度题项 Test items	均值 Mean	标准差 SD
数字获取能力 Digital acquisition capability	使用数字工具检索农业信息/知识	0.588	0.492
数字应用能力 Digital application capability	使用数字工具收付款	0.852	0.355
	使用数字工具购买商品	0.825	0.380
数字共享能力 Digital sharing capability	拥有农业相关知识的朋友圈（微信群、QQ群或其他软件）	0.471	0.499
	利用数字工具交流农业信息的朋友数量	12.946	11.929

注：表3中数字工具包含手机、电脑或平板等。

Note: The digital tools in Table 3 include tools such as mobile phones, computers or tablets.

2.3.3 工具变量

参考现有文献的做法，本研究利用农户所在区、县上网率作为工具变量[27]。选取原因如下：第一，农户所在区、县上网率反映一个地区的互联网发展水平，若该区、县的上网率高，则表明农户数字素养高的可能性越大，满足工具变量的相关性假设；第二，区、县上网率属于宏观层面的变量，不会直接影响农户小麦储存损失水平，符合工具变量的外生性要求。

2.3.4 控制变量

借鉴现有文献，本研究尽可能选取影响农户小麦储存损失的因素作为控制变量，包括农户家庭经济特征、小麦储存情况及区位特征3个方面。其中，家庭经济特征包括家庭劳动力数量、家庭收入；储存特征包括粮食收获程度、耕地面积、小麦耕地面积、生物防治、化学防治和物理防治，在区位特征方面主要控制所在地区的省份特征。变量的具体定义及描述性统计如表4。在数字素养方面，农户的平均数字素养为0.431，这与王杰等[28]的研究一致。就生产经营特征方面，劳动力数量均值为2.463，符合现实情况，表明此次调研数据具有一定代表性。

2.4 研究方法

为检验数字素养对小麦储存损失的作用，本研究构建如下基准回归模型：

$$\mathrm{Loss}_i = \beta_0 + \beta_1 \mathrm{Dig} + \beta_2 X_i + \varepsilon_i \qquad (2)$$

式中：i为第i个农户；被解释变量Loss_i为小麦储存损失水平；核心解释变量Dig_i为第i个农户的数字素养；X_i为控制变量，包括农户的家庭社会经济特征、小麦储存特征；β_0为常数项；β_1、β_2为待估计系数；ε_i为随机误差项。

3 实证结果与分析

3.1 基准回归结果

农户数字素养提升对小麦储存损失的结果见表5。随着农户数字素养的提升，小麦储存损失水平平均减少0.019个单位，且在5%水平下显著，即农户数字素养提升显著降低小麦储存损失，验证了研究假说1。其可能原因在于：一是使用数字设备增加农户信息供给，打破农户获取的信息壁垒，扩宽农户获取小麦储存知识的来源，使农户在储存过程中善于运用适宜的储存管理方法，降低小麦储存损失；二是数字平台降低农户购买储存设施的交易成本，通过提供透明化的储存设施信息，直接匹配买卖双方，排除线下中间商利润价格差的盘剥，获得价格适宜的储存设施，使小麦储存过程中免受病虫害、潮湿等不良条件带来的损失，将小麦储存损失降至最小化；三是加强风险管理的预防性工作，农户通过数字设备及时掌握天气信息，提前知晓未来天气变化，提前采取干预措施，如将室外储存的小麦转移至室内干燥空间，有效减少极端天气带来的储存损失。

3.2 内生性讨论

本研究重点探讨农户数字素养提升对小麦储存损失的影响，然而，在回答此问题时却面临着内

表 4　变量的描述性统计

Table 4　Descriptive statistics of variables

变量 Variable	定义 Definition	均值 Mean	标准差 SD
储存损失水平 Storage loss level	小麦储存损失水平＝储存损失量/（储存数量＋储存损失数量）	1.790	1.991
数字素养 Digital literacy	因子分析	0.431	0.180
年龄 Age	户主的年龄/岁	53.891	9.774
受教育年限 Education year	受教育年限	9.871	2.044
劳动力数量 Labor number	家庭劳动力人数	2.463	0.970
家庭收入 Household income	家庭年收入/万元	3.774 4	2.783 8
意外天气 Accidental weather	收获时是否遭遇意外天气：是＝1，否＝0	0.526	0.500
小麦赶种 Wheat stubble	收获时小麦是否赶种下一季：是＝1，否＝0	0.589	0.492
耕地面积 Cultivated area	耕地总面积/hm^2	1.552	5.058
小麦耕地面积 Wheat arable land area	小麦种植面积/hm^2	0.900	2.378
生物防治 Biological control	是否采取养猫等生物防治措施：是＝1，否＝0	0.316	0.465
化学防治 Chemical control	是否采取喷药等化学防治措施：是＝1，否＝0	0.375	0.485
物理防治 Physical control	是否采取翻晒等物理防治措施：是＝1，否＝0	0.098	0.297
省份特征 Provincial characteristic	地区所在地：东部＝0；中部＝1；西部＝2	0.944	0.695
观测值 Observations	645		

表 5　农户数字素养提升对小麦储存损失的基准回归结果

Table 5　Baseline result of digital literacy of farmers to wheat storage loss

变量 Variable	回归系数 Regression coefficient	标准误 SE
数字素养 Digital literacy	−0.019**	0.010
年龄 Age	−0.154	0.110
受教育年限 Education year	−0.008	0.024
劳动力数量 Labor number	−0.087	0.178
家庭收入 Household income	−0.013**	0.005
意外天气 Accidental weather	0.218	0.351
小麦赶茬 Wheat stubble	−0.341	0.002
耕地面积 Cultivated area	−0.026	0.086
小麦耕地面积 Wheat arable land area	−0.048	0.0041
生物防治 Biological control	0.636	0.570
化学防治 Chemical control	−0.222	0.482
物理防治 Physical control	−1.434*	0.743
省份特征 Provincial characteristic	0.518**	0.262
常数项 Constant term	4.314***	0.775
样本量 Observations	645	

注：*、**和***分别表示 10%、5% 和 1% 水平上显著。下同。

Note: *, **and *** indicate the significance levels of 10%, 5% and 1%, respectively. The same below.

生性问题，主要来源于2个方面：一是遗漏变量问题，由于本研究使用的是调研数据，仅调查农户一年的信息，可能无法完全考虑到所有潜在的影响因素，未观察到的因素可能对研究结果产生影响，从而引致内生性问题；二是反向因果关系，但储粮损失率低的农户相对来说，会更加主动探寻储粮知识，可能具备更高的数字素养。

本研究运用工具变量法来克服遗漏变量及双向因果关系导致的内生性问题。本研究选择“农户所在区、县的上网率”作为农户数字素养的工具变量，从工具变量的相关性条件来看，农户所在区、县的上网率可以反映该地区农户上网的可及性，影响农户数字素养的提升。从外生性来看，农户所在区、县的上网率无法直接影响小麦储存损失。因此，本研究选取的工具变量满足相关性和外生性条件，使用工具变量的回归结果如表6。从第一阶段结果来看，工具变量的回归系数在1%水平上显著为正，这说明农户所在区县的上网率越高，农户的数字素养水平也越高，且F统计量为54.786>10，表明工具变量满足相关性要求。第二阶段的回归结果表明，数字素养对小麦储存损失的影响为负向，且在10%的水平上显著，表明农户数字素养提升显著降低小麦储存损失，该结论与基准回归结果保持一致。此外，弱工具变量检验的Cragg-Donald Wald F统计量为59.076，大于Stock-Yogo临界值16.38，表明不存在弱工具变量问题。综上所述，在克服可能的内生性问题之后，基准回归模型的估计结果仍然成立。

表6 农户数字素养提升对小麦储存损失的影响：工具变量

Table 6 Impact of digital literacy of farmers on wheat storage loss rate: IV results

变量 Variable	第一阶段：数字素养 The first stage: Digital literacy	第二阶段：小麦储存损失水平 The second stage: Wheat storage level
工具变量 Instrumental variable	0.303***	−0.076***
	(3.013)	(0.039)
控制变量 Control variable	已控制	已控制
样本量 Observations	614	614
F统计量 F statistic	54.786	
Cragg-Donald Wald F		59.076

注：工具变量为农户所在区县的上网率；括号内为系数估计的稳健标准误。控制变量有：年龄、受教育年限、劳动力数量、家庭收入、意外天气、小麦赶茬、耕地面积、小麦耕地面积、生物防治、化学防治、物理防治、省份特征，下同。

Note: Instrumental variable is the average information ability of farmers in other administrative villages in the county. Robust standard error of coefficient estimation in parentheses. The control variables are age, education year, labor number, household income, accidental weather, wheat stubble, area, wheat arable, biological control, chemical control, physical control, provincial characteristics. The same below.

3.3 异质性分析

本研究试图从家庭收入、劳动力资源约束2个方面考察农户数字素养提升对小麦储存损失影响的异质性，以便于解开前述全样本基准回归结果中掩盖的大量信息。

1）基于家庭收入分组的异质性。为考察在不同家庭收入的农户中，数字素养对小麦储存损失产生的异质性效应，本研究使用家庭收入的中位数将样本划分为低收入组和高收入组。表7展示了家庭收入的异质性回归结果，从结果可以看出，农户数字素养提升对小麦储存损失的影响主要体现在高收入家庭的农户中，且在1%水平下显著。而对低收入家庭的小麦储存损失没有显著影响，该实证结果验证了研究假说2。对此解释为：与高收入农户相比，数字素养的提升未能激发农户在储存要素上的投入，因而未能显著减少储存损失。

2）基于劳动力资源分组的异质性。考虑小麦在储存过程中存在大量体力活动，需要2个及以上劳动力合作完成，因此将家庭中从事农业生产的人数划分为劳动力资源充足的农户和劳动力资源欠缺的农户2组。由表8可知，数字素养提升显著降低家庭劳动力资源充足的小麦储存损失，且在10%的水平上显著；然而，对于劳动力资源短缺的家庭，数字素养对小麦储存损失的降低作用并不显著。

表 7　农户数字素养提升对小麦储存损失影响：基于家庭收入分组的回归结果

Table 7　Impact of farmers′ digital literacy on wheat storage losses：Regression results based on household income groups

变量 Variable	低收入家庭 Strong liquidity family	高收入家庭 Weak liquidity family
数字素养 Digital literacy	−0.007 （0.014）	−0.038*** （0.014）
控制变量 Control variable	已控制	已控制
样本量 Observations	369	276

表 8　农户数字素养提升对小麦储存损失影响：基于劳动力资源分组的回归结果

Table 8　Impact of farmers′ digital literacy on wheat storage losses：Regression results based on labor resource groups

变量 Variable	劳动力资源充足 Sufficient labor resources	劳动力资源欠缺 Lack of labor resources
数字素养 Digital literacy	−0.025* （0.015）	−0.013 （0.014）
控制变量 Control variable	已控制	已控制
样本量 Observations	246	399

这表明，相较于劳动力资源欠缺的家庭，数字素养显著降低家庭劳动力资源充足的小麦储存损失，对其可能的解释为：对于劳动力资源欠缺的农户而言，即使其拥有较高水平的数字素养，但是由于在小麦储存过程中存在搬运等体力活动，面临劳动力资源约束，其无法将数字素养获取的先进储存知识付诸实践，导致数字素养的降低效应无法发挥作用，这表明，尽管农户具备较高水平的数字素养，仍需要劳动力资源的补充来充分发挥数字素养的作用。

4　结论与政策建议

为助力节粮减损政策优化，本研究探讨了农户数字素养提升对小麦储存损失的影响，利用2022年中国16省645户调研数据，首先分析不同地区的小麦储存损失水平，其次实证检验了农户数字素养提升对小麦储存损失的影响，最后探讨其影响在不同收入、劳动力资源约束家庭的异质性效应。研究发现：1）中国农户小麦储藏平均损失水平为1.79，西北地区农户的平均小麦储存损失水平远远高于中南、华北、华东地区。2）农户数字素养提升显著降低小麦储存损失，该结论在运用工具变量法克服内生性问题后，依然显著，表明结论稳健可靠。3）异质性分析发现，农户数字素养提升降低小麦储存损失的影响主要体现在高收入、劳动力资源充足的家庭中，对其解释为：对面临资金和劳动力约束的农户来说，农户数字素养提升无法对小麦储存要素投入增加产生显著的刺激作用。因此，在实施节粮减损政策时，需要基于农户异质性进行差异化政策干预，实现政策投入产出的最大化。

本研究利用2022年的最新数据补充了数字素养在粮食产后储存环节发挥作用的经验证据，为下一步实施节粮减损政策的优化提供参考。从研究结论可知，中国农户小麦储存损失水平为1.79，按照2021年的农户粮食储存量4.06亿t来计算，粮食储存损失总量达到726.74万t。因此，探寻降低农户粮食储存的影响因素，对减少粮食损失、提高粮食储存效率以及保障粮食的有效供应至关重要。近年来，在数字乡村建设工程实施、农村信息基础设施建设不断加快的背景下，检验农户数字素养提升对粮食储存损失的影响，关乎国家粮食的稳定供给，对保障国家粮食安全具有重要意义。但值得注意的是，倘若要充分发挥数字素养的经济效应，仍需重视农户之间的异质性效应，部分农户在储粮过

程中面临资金、劳动力资源制约,使数字素养的作用无法得到有效发挥。因此,政府在制定节粮减损的政策干预时,需要针对不同群体实施差异化的政策,在放松这部分农户的资源制约后,才能促使农户的数字素养充分发挥应有作用,而不能任由资源禀赋差异放大农户间的数字鸿沟。

基于研究结果,本研究得到以下研究启示:

第一,政府未来需继续提升农村地区互联网接入可及性,增加农户数字素养及应用能力的培训频率,加快提升农户数字素养在粮食储存环节的应用,从根本上消除农户数字素养的技术壁垒,强化数字素养与劳动力禀赋结构的适配性,使农户更有效地配置农业生产资源,为储粮环节注入全新的生产要素。此外,需注意不同区域之间的差异,为降低西北地区较高的小麦储存损失水平,应当迅速填补数字乡村建设的基本要素短板,重点着眼于构建良好的数字生态环境。同时,应向西北地区的农户传递科学、合理的粮食储存知识,逐步缩小东西部之间的储存损失差距。

第二,考虑到农户存在资源禀赋差异,政策应重点扶持低收入家庭的农户,以弥补其在数字经济效应方面受到约束条件影响的劣势,从而不断缩小与资源禀赋丰富的农户在数字技术应用中的"数字鸿沟"。同时,政府需要确保公共服务的有效供给。一方面,应为弱势农户提供信贷、税收等政策支持,提高农户资金获取的可及性,为农户数字素养作用的发挥创造良好的资金条件;另一方面,应研发适应农户需求的储粮技术和粮仓,以降低农户科学储存的成本。同时,政府还可以提供多样化的农业社会化服务,缓解当前农村面临的大量劳动力外流所带来的劳动力资源约束,针对粮食产后各个环节的特点,提供专业化社会化服务,以满足农户农业生产过程中劳动力协作作业的需求,使农户数字素养更好地发挥农业生产资源优化的作用。

参考文献 References

[1] 普莫喆,陈希,钟钰,甘林针. 季节性流动视角下的中国粮食储备规模估算:基于粮食产销流动中断风险的分析[J]. 中国农村经济,2023(5):2-22
Pu M Z, Chen X, Zhong Y, Gan L Z. Estimating the size of China's grain reserves from the perspective of seasonal flows: An analysis based on disruption risks in grain chain[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(5): 2-22 (in Chinese)

[2] 西爱琴,朱广印,吴敬学. 农户科学储粮技术认知与采用意愿研究:基于山东省的实证分析[J]. 中国农业资源与区划,2015,36(5):82-88
Xi A Q, Zhu G Y, Wu J X. Knowledge and decision making on scientific grain store technology adoption: Empirical evidence from households of Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(5): 82-88 (in Chinese)

[3] 高利伟,许世卫,李哲敏,成升魁,喻闻,张永恩,李灯华,王禹,吴晨. 中国主要粮食作物产后损失特征及减损潜力研究[J]. 农业工程学报,2016,32(23):1-11
Gao L W, Xu S W, Li Z M, Cheng S K, Yu W, Zhang Y E, Li D H, Wang Y, Wu C. Main grain crop postharvest losses and its reducing potential in China[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2016, 32(23): 1-11 (in Chinese)

[4] Sheahan M, Barrett C B. Food loss and waste in Sub-Saharan Africa: A critical review[J]. *Food Policy*, 2017, 70: 1-12

[5] 罗屹,黄东,武拉平,曹芳芳. 储粮损失与农户储粮决策:基于23省1199户玉米种植户的实证分析[J]. 中国农业大学学报,2022,27(9):30-42
Luo Y, Huang D, Wu L P, Cao F F. Storage losses and households' storage decision in China: Based on the survey data of 1199 corn growers from 23 provinces[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 30-42 (in Chinese)

[6] Kumar D, Kalita P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries[J]. *Foods*, 2017, 6(1). [2023-04-11]. DOI: 10.3390/foods6010008

[7] Gitonga Z M, Hugo D G, Menale K, Tadele T. Impact of metal silos on households' maize storage, storage losses and food security: An application of a propensity score matching[J]. *Food Policy*, 2013, 43: 44-55

[8] 赵霞,陶亚萍,曹宝明. 中国粮食产后损失评估分析[J]. 干旱区资源与环境,2022,36(6). [2023-04-11]. DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2022.140
Zhao X, Tao Y P, Cao B M. Assessment on post-harvest losses of grains in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(6). [2023-04-11]. DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2022.140 (in Chinese)

[9] 张瑞娟,孙顶强,武拉平,Colin Carter. 农户存粮行为及其影响因素:基于不同粮食品种的微观数据分析[J]. 中国农村经济,2014,359(11):17-27
Zhang R J, Su D Q, Wu L P, Colin C. Farmers' grain storage behavior and its influencing factors: Based on microdata of different grain varieties[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014, 359(11): 17-27 (in Chinese)

[10] Rudolf R. The impact of maize price shocks on household food security: Panel evidence from Tanzania[J]. *Food Policy*, 2019, 85: 40-54

[11] 魏霄云,史清华. 农家粮食:储备与安全:以晋浙黔三省为例[J]. 中国农村经济,2020,429(9):86-104
Wei X Y, Shi Q H. Household grain storage and food security: An analysis based on data from Shanxi, Zhejiang and Guizhou[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020, 429(9): 86-104 (in Chinese)

[12] Glister P. *Digital Literacy*[M]. New York: Wiley, 1997

[13] 苏岚岚,彭艳玲. 农民数字素养、乡村精英身份与乡村数字治理参与[J]. 农业技术经济,2022,321(1):34-50
Su L L, Peng Y L. Farmers' digital literacy, elite identity and participation in rural digital governance[J]. *Journal of Agrotechnical Economic*, 2022, 321(1): 34-50 (in Chinese)

[14] Williamson O E. Transaction cost economics: The governance of contractual relations[J]. *Journal of Law & Economics*, 1979, 22(2): 233-261

[15] Jarvenpaa S L, Todd P A. Consumer reactions to electronic shopping on the world wide web[J]. *International Journal of Electronic Commerce*, 1996, 1(2): 59-88

[16] 武拉平,张昆扬. 建立粮食产后前端常态化损失调查制度的思路与方案[J]. 中州学刊,2023,318(6):58-64

Wu L P, Zhang K Y. The idea and plan for establishing a normalized loss investigation system in the front-end of post-harvest grain [J]. *Zhongzhou Academic Journal*, 2023, 318(6): 58-64 (in Chinese)

[17] 郭红东，白军飞，刘晔虹，王晶晶，曲江．电子商务助推小农发展的中国例证[J]．江苏大学学报：社会科学版，2021，23(5)：13-21，33
Guo H D, Bai J F, Liu Y H, Wang J J, Qu J. Examples of e-commerce boosting small-scale agriculture development in China[J]. *Journal of Jiangsu University: Social Science Edition*, 2021, 23(5): 13-21, 33 (in Chinese)

[18] Alba J, Lynch J, Weitz B, Janiszewski C, Lutz R, Sawyer A, Wood S. Interactive home shopping: Consumer, retailer, and manufacturer incentives to participate in electronic marketplaces [J]. *Journal of Marketing*, 1997, 61(3): 38-53

[19] Bourdieu P. *The Forms of Capital, Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*[M]. New York: Greewood Press, 1986

[20] Bakos Y. The emerging role of electronic marketplaces on the Internet [J]. *Communications of the ACM*, 1998, 41(8): 35-42

[21] 罗屹，严晓平，吴芳，武拉平．中国农户储粮损失有多高：基于28省2296户的农户调查[J]．干旱区资源与环境，2019，33(11)：55-61
Luo Y, Yan X P, Wu F, Wu L P. On farm storage loss in China: Based on 2296 households surveys in 28 provinces[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(11): 55-61 (in Chinese)

[22] 褚宏启．核心素养的国际视野与中国立场：21世纪中国的国民素质提升与教育目标转型[J]．教育研究，2016，37(11)：8-18
Chu H Q. The international perspective and China's stance of key competencies: The enhancement of national qualities and the transformation of educational goals in 21st century in China [J]. *Educational Research*, 2016, 37(11): 8-18 (in Chinese)

[23] 张恩铭，盛群力．培育学习者的数字素养：联合国教科文组织《全球数字素养框架》及其评估建议报告的解读与启示[J]．开放教育研究，2019，25(6)：58-65
Zhang E M, Sheng Q L. Developing digital literacy for learners: The interpretations and implications of UNESCO's reports on digital literacy global framework and its assessment [J]. *Open Education Research*, 2019, 25(6): 58-65 (in Chinese)

[24] Law N, Woo J D, Wong G. A global framework of reference on digital literacy skills for Indicator 442 [R]. Canada: The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2018

[25] 苏岚岚，张航宇，彭艳玲．农民数字素养驱动数字乡村发展的机理研究[J]．电子政务，2021，226(10)：42-56
Su L L, Zhang H Y, Peng Y L. Research on the mechanism of farmers' digital literacy driving digital rural development[J]. *E-government*, 2021, 226(10): 42-56 (in Chinese)

[26] 高欣峰，陈丽．信息素养、数字素养与网络素养使用语境分析：基于国内政府文件与国际组织报告的内容分析[J]．现代远距离教育，2021，194(2)：70-80
Gao X F, Chen L. The usage context analysis of information literacy, digital literacy and network literacy: Content analysis based on domestic government documents and reports from international organizations[J]. *Modern Distance Education*, 2021, 194(2): 70-80 (in Chinese)

[27] 陈昕，胡友，祁春节．互联网应用对农村居民服务采纳的影响：基于生产、生活两个方面[J]．中国农业大学学报，2023，28(3)：265-278
Chen X, Hu Y, Qi C J. Influence of internet application on rural resident service adoption: Balance production and life [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(3): 265-278 (in Chinese)

[28] 王杰，蔡志坚．风险规避、数字技术使用与农村家庭创业行为[J]．华南农业大学学报：社会科学版，2022，21(2)：28-40
Wang J, Cai Z J. Risk aversion, digital technology use and rural household entrepreneurial behavior [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2022, 21(2): 28-40 (in Chinese)

责任编辑：王岩

第一作者简介：胡南燕，中国农业大学经济管理学院在读博士研究生。专业方向为粮食经济与农业信息化。在《湖南农业大学学报》《学前教育研究》《农业技术经济》《中国生态农业学报》等高水平期刊发表论文多篇，参与编写著作2部。参与国家社科重大项目(22&ZD087)、中国农业大学高水平创新项目“农业市场与信息化”等多个项目。在生活中爱好看书，注重理论知识与实际相结合。

通讯作者简介：武拉平，中国农业大学经济管理学院教授，博士生导师。主要从事粮食经济、农产品市场和农业信息化等相关研究。主持国家自然科学基金、国家社科基金、农业农村部、商务部和国家粮食局等中央部委课题以及联合国、世界银行和亚洲开发银行等多个国际机构的课题数十项。在 *American Journal of Agricultural Economics*, *Food Policy*, *China Economic Review*, 《中国农村观察》《中国农业大学学报》等高水平期刊发表学术论文200余篇，出版著作教材20余部。入选教育部新世纪优秀人才(2012)、北京市“四个一批”经济学理论人才(2015)、学校领军教授(2019)。兼任 *China Agricultural Economic Review* 副主编、农业农村部市场预警专家、国家粮食法起草工作专家组成员，担任中国农业大学高水平创新团队首席专家等职务。