

# 互联网应用对农户精准农业 技术采纳的影响\*

——基于 907 个蛋鸡养殖户的实证分析

郭巧苓 马 骥

(中国农业大学经济管理学院 北京 100083)

**摘要:**精准农业技术是促进农业现代化发展的关键,在信息化背景下,探究互联网应用对精准农业技术采纳行为的影响,现实意义重大。本文基于 2022 年 907 个蛋鸡养殖户微观调研数据,运用 Tobit 模型、工具变量法、中介效应等研究方法实证互联网应用对精准农业技术采纳程度的影响,并进一步验证交易成本、信息供需匹配程度在互联网应用对精准农业技术采纳过程中的作用机制。研究发现,第一,互联网作为重要的“新农具”,通过互联网应用能够显著促进精准农业技术采纳程度的提高。第二,互联网应用可以通过降低交易成本提高精准农业技术采纳。分维度来看,互联网能够显著降低固定交易成本,其中介效应显著;在可变交易成本中,信息成本和谈判成本中介效应显著,其中谈判成本中介效应更大,而执行成本中介效应不显著。第三,互联网应用能够通过提高蛋鸡养殖户信息供需匹配程度,进而提高蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度。具体来看,操作信息>政策信息>知识信息>成本信息。因此,本文提出引导农户应用互联网、完善信息服务体系,降低交易成本、增强信息供需匹配程度等政策建议,助推精准农业技术发展。

**关键词:**互联网应用;交易成本;信息供需匹配;中介效应

## 一、引言

加快发展现代农业,是建设“农业强国”的应有之义。2012 年以来中央“一号文件”多次强调,全面推动精准农业技术发展,依靠科技创新驱动引领支撑现代农业建设,加快农业生物技术、信息技术、精准农业技术等前沿技术研究,推动饲喂自动化、环境控制智能化等设施装备技术普及应用。因此,精准农业是我国现代农业发展方向,精准农业技术推广成为推动农业科技进步、农业现代化的重要内容(方向明等,2018)。

互联网的普及为现代农业技术推广开辟了新阵地,因此,如何运用互联网助力精准农业技术的推广成为当前学术界和政府部门关注的热点之一。“互联网应用”最早出现在信息传播学和心理学的研究文献中,主要考察微观主体通过互联网进行信息获取、接受与传播的个体差异(Davis,2001;潘忠党等,2010),21 世纪以来,众多学者开始将互联网应用与农户经济行为相结合,探讨互联网应用对农户生产行为、要素配置等影响。

\* 项目来源:中德国际合作研究项目(编号:AMAZIZE-P,328017493/GRK2366),中国农业大学 2115 人才工程资助项目。马骥为本文通讯作者

梳理已有文献(见表1),在互联网技术发展的早期,互联网接通率在城市和农村差异显著,多以考察“是否拥有互联网设备”为主;2014年我国启动“信息进村入户工程”,农村家庭的互联网和智能手机拥有率大幅度提高,互联网技术在农村地区普及,指标变量以考察“能否通过互联网获取农业信息”为主。从研究指标来看,互联网应用的代理变量主要包括是否拥有互联网终端设备以及是否上网(闫贝贝等,2020)、是否能够应用互联网获取农业信息及频率(陈哲等,2022;程守文等,2023;姜维军等,2021);从表征结果来看,多以“0”“1”进行度量。考虑到现阶段农户已解决互联网设备接入和能否获取农业信息的问题,以上度量指标不能精准刻画出农户互联网应用程度,难以反映出互联网应用程度的深度,缺乏一定的现实意义,亟需深化互联网应用指标。

表1 互联网应用概念及代理变量文献梳理

解释变量	概念	代理变量	参考文献
信息渠道	农户是否从电视或网络获取农业技术信息的行为	农户是否从网络获取农业技术信息	佟大建等,2018
互联网使用	聚焦于手机网络(包括微信等微媒体)和电脑上网等农业信息获取的行为	农户是否主动使用手机或电脑获取农业信息 是否上网; 平均每周互联网使用时间	丁李立等,2020;姜维军等,2021;闫迪等,2021;刘子涵等,2021 邱磊菊等,2022
新媒体使用	农户以互联网为媒介,通过文字、图片、视频等进行信息传播的网络媒体获取农业信息	农户是否使用新媒体获取学习生物农药技术信息知识	桑贤策等,2021
手机使用	农户获取信息的一级数字鸿沟(设备接入)和二级数字鸿沟(信息的利用、鉴别能力)	是否有智能手机; 是否通过手机了解农业技术信息	闫贝贝等,2020
互联网学习	农户利用互联网或移动互联网设备,以网络教育、远程教育等方式,获取农业知识和信息的学习行为	农户搜索农业技术方面信息或主动利用互联网学习农业技术的频率	陈哲等,2022

从经济学理论来讲,互联网应用对农户技术采纳具有正向影响。首先,根据信息经济学理论,互联网技术促进了政府部门、科研部门、行业部门等信息交流平台建设,大大提高了农户对市场、技术、知识等信息获取的能力,为农户带来了新知识、新思想和新理念(姜维军等,2021),加强了农户对绿色生产行为和先进技术的认知,进而促进农户技术采纳。其次,互联网应用能够降低农户的信息搜寻成本,缓解农户与上游要素商、下游经销商之间的信息不对称问题,降低机会主义滋生、减少交易成本(桑贤策等,2021),同样有助于促进农户行为技术采纳。再者,农户开展以互联网为载体的电子商务活动,通过消费升级倒逼产业升级,也能够对先进农业技术的采纳产生积极影响。

然而,已有研究并不完全支持互联网应用能够显著促进农户先进技术采纳的理论预期。研究显示,考虑到互联网在农村地区的普及率相对较低,农户受文化观念等因素影响,通过互联网渠道获取农业技术信息的能力相对较低,且因受教育程度的限制,农户在采用互联网信息渠道时面临更高的沉没成本,导致互联网信息获取渠道对农户生产行为、技术采纳的影响并不显著(丁李立等,2020)。另有研究表明,以手机或互联网为代表的网络信息获取渠道拓宽了信息渠道数量,但信息获取渠道庞

杂,信息甄别成本加大会增加农户信息搜寻成本、降低技术采纳规范性,导致互联网应用对农户技术采纳具有显著的负向影响(司瑞石等,2022)。

为什么会出现相反的结论呢?第一,已有研究中互联网应用对技术交易成本的影响方向不确定;第二,已有研究多从信息供给的视角展开,未关注到农户应用互联网获取的信息能否满足所需,忽略了农户信息供需是否匹配的问题。鉴于此,本文充分考虑交易成本、信息供需匹配,将其纳入互联网应用对农户技术采纳的分析框架,探讨互联网应用程度对精准农业技术采纳的影响,并进一步探究交易成本和信息供需匹配的中介路径,最后利用2022年907份蛋鸡养殖户调研数据进行实证检验,以期破解已有研究中互联网应用对农户技术采纳的争议,降低技术交易成本,促进农户信息供需匹配,科学合理地引导农业现代化有序推进。

与已有研究相比,本文创新之处如下:第一,深化互联网应用指标,利用“每日查询蛋鸡产业相关信息的互联网应用时长”来反映互联网应用程度,增强了互联网应用指标的现实性;第二,从交易成本的视角,将交易成本从信息成本等可变交易成本拓展至固定交易成本,验证“互联网应用—交易成本—技术采纳”的影响路径,并充分探讨固定交易成本和可变交易成本的异质性;第三,从信息供需匹配的视角,验证“互联网应用—信息供需匹配—技术采纳”的影响路径,充分探究技术信息的异质性问题(政策信息、操作信息、成本信息和知识信息)。

## 二、理论分析与研究假设

### (一) 互联网应用与精准农业技术采纳

假设模型中的农户在农业生产中使用一种或几种新技术,该技术涉及农户不熟悉的可变输入要素 $N$ (例如饲料、疫苗、设备等)。可以预期,随着农户对新技术的知识和经验积累,将能够在给定的投入组合中创造更多的产出。因此,生产函数应明确包含知识水平。Feder等(1984)在Kislev等(1973)提出的创新周期模型基础上,构建信息 $K$ 的知识函数,并将其作为输入因素纳入农户的生产函数:

$$Q_t = g(K_t) F(L, N_t) \quad (1)$$

其中, $Q_t$ 是 $t$ 期间的产量, $L$ 是土地投入, $N_t$ 是 $t$ 期间的其他投入,如新品种、饲料、机械、兽药等, $K_t$ 是 $t$ 期间积累的信息, $g$ 和 $F$ 是凹函数。

进一步假设 $F(\cdot)$ 具有恒定的规模收益率,因此(1)式可以改写为:

$$Q_t = g(K_t) f(N_t) \quad (2)$$

其中, $q_t = Q_t/L$ ;  $n_t = N_t/L$ ;  $f = F(1; n_t)/L$

函数 $F(\cdot)$ 被假定具有良好的生产函数特性(见图1),即正的、递减的边际生产率。此外,假设 $n=0$ 时边际生产率是有限的,即使 $n=0$ ,依然能够获得少量产出。知识函数 $g(\cdot)$ 遵循Kislev等假设条件:知识的边际贡献是正的,并且在下降。此外,随着知识的增加,知识函数收敛到上限 $\bar{g}$ ,意味着随着知识的积累,信息增量的边际生产率趋于零(见图2)。

$$(I) f' > 0; f'' > 0; f'(0) = f'_0 > 0; f(0) > 0$$

$$(II) \lim_{k \rightarrow \infty} g(K) = \bar{g}; \lim_{k \rightarrow 0} g(K) = 0; 0 \leq g \leq 1; \lim_{k \rightarrow \infty} g' = 0; g' \geq 0; g'' \leq 0 \quad (3)$$

(2)式是一个两阶段的生产函数。在第一阶段,技能和经验结合在一个“表现良好”的生产函数中,以创建一个知识组件,这在第二阶段与技术采纳过程相结合,以生产最终产品。 $g(\cdot)$ 以获得最大学习量的知识,可以区分两类产品(见图3)。在第一类中(比如原技术-常规技术), $g_1(\cdot) = 1$ 。如果有足够的经验,所有生产者都将拥有与本产品生产相关的同等水平的知识。在第二类(例如新技

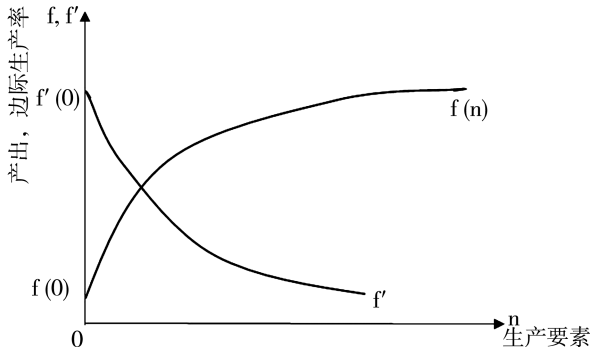


图1 生产函数及其特征

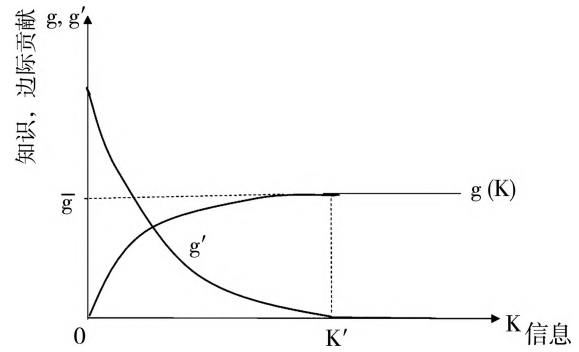


图2 知识函数及其特征

术)中,对新技术的信息掌握较少,技术知识有待于进一步提高,此时  $g_2(\cdot) < 1$ 。

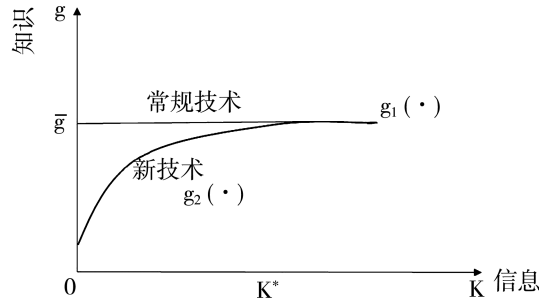


图3 新旧技术的知识函数差异

在定义累积信息  $K_t$  及其获取方式时,假设农民通过被动和主动学习获取信息,且主动收集信息需要付出时间或金钱等成本。在任何给定的时间,获取信息的边际成本都会不断增加,这反映出农户倾向于获取成本更低的信息来源,即应用互联网不仅能获取农业技术  $\partial L/\partial K > 0$ ,还能够降低主动获取信息的成本  $\partial L/\partial A < 0$ 。

时间  $t$  的信息状态  $K$  定义为:

$$K_t = K_{t-1} + A_t + h_t \tag{4}$$

其中,  $h_t$  描述了在此期间被动获取信息。随着越来越多的人增加相关技术知识并与他人讨论相关经验,  $h_t$  可能会随着时间的推移而增加。  $A_t$  表示主动获取的信息量,存在一定的目的性,因此是一个决策变量,需付出的信息成本  $C$ :

$$C_t = C(A_t) \quad C' > 0 \quad C'' > 0 \tag{5}$$

假设(不丧失普遍性)产出价格是统一的,并用  $p$  表示  $N$  的价格,规模  $L$  的农户利润函数  $\pi_t$  如下所示:

$$\pi_t = L[g(K_t)f(n_t) - pn] - C(A_t) \tag{6}$$

农户的目标是:

$$\max_{n_t, A_t} \pi_t, \text{ 结合(1)式} \sim \text{(4)式和 } n_t \geq 0 \quad A_t \geq 0 \tag{7}$$

最优需求的一阶条件:

$$\pi_n = L[g(K_t)f'(n_t) - p] \leq 0 \quad n_t \pi_n = 0 \tag{8}$$

$$\pi_a = Lg'(K_t)f(n_t) - c' \leq 0 \quad A_t \pi_a = 0 \tag{9}$$

其中,  $\pi_n$  和  $\pi_a$  分别代表利润对技术  $n$  和信息获取成本  $A$  的偏导数。假设  $\pi_n = 0$ , 则  $dn/dk_1 = -g'f'/gf'' > 0$ ; 这意味着农户获得的信息越多, 采用新技术的可能性就越大。前文假设应用互联网能够获得农业技术信息, 且降低获取信息的成本, 即随着互联网应用时长增加, 只要信息边际生产率  $g'$  为正, 则精准农业技术的有关信息积累水平逐渐提高, 农户采纳精准农业技术的程度逐步提高。由此, 本文提出如下研究假说:

假说 1: 互联网应用, 尤其是查询蛋鸡行业信息时长的增长, 有助于提高农户精准农业技术采纳程度。

## (二) 交易成本的中介作用

根据新制度经济学的进展, 技术交易成本可分为固定交易成本和可变交易成本 (Key, 2000; Winter-Nelson, 2005)。具体到蛋鸡养殖户是否采纳精准农业技术的情景, 固定交易成本指的是技术采纳前的必要投资, 包括实物资产的专用性和关系资产的专用性, 能够影响农户是否采纳新技术; 可变交易成本指的是谈判成本、信息成本和执行成本等, 能够影响农户新技术的采纳程度 (范慧荣, 2021; 侯建昀, 2017)。

为梳理交易成本在互联网应用对技术采纳影响中的作用路径, 图 4 和图 5 分别表示精准农业技术采纳的固定交易成本分析和可变交易成本分析, 对此问题展开详细阐述。在图 4 和图 5 中,  $T^*$  表示蛋鸡养殖户在交易成本为 0 的情况下, 养殖户采纳精准农业技术的程度, 且技术采纳程度与养殖户的需求相匹配,  $T$  表示蛋鸡养殖户在实际养殖生产中的精准农业技术采纳程度。在理想情景即交易成本为 0 时, 买方和卖方信息完全对称, 养殖户的精准农业技术采纳程度可以实现其利润最大化, 这种情况下, 对应图 4 的  $S_1$  线,  $S_1$  线与横轴  $T^*$  夹角为  $45^\circ$ , 斜率为 1, 此时的精准农业技术采纳程度与其想采纳的程度相等, 即  $T^* = T$ 。但是, 在蛋鸡养殖生产过程中, 其购买饲料、兽药, 进行销售活动和技术采纳过程中等均存在交易成本, 所以  $T^*$  线的截距和斜率均会改变。

技术采纳过程中的交易成本较高主要是因为买方和卖方的信息不对称。蛋鸡养殖户产生精准农业技术采纳需求时, 需要购置相应的实物资产和寻找相应的人脉关系, 支付一定的固定交易成本 (见图 4)。当蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度较低的时候, 其所付出的交易成本是规模不经济的, 因而在交易成本较高的情境下, 养殖户精准农业技术采纳程度较高, 达到  $T_0$  才能被发现。当养殖户想采纳的技术程度在  $[0, T_0]$  中时, 在纵轴上则为 0。简言之, 在  $T^* < T_0$  的时候, 养殖户的技术采纳需求不会转化为技术采纳, 养殖户技术采纳曲线从  $S_1$  平行下移至  $S_2$ , 即为固定交易成本导致养殖户精准农业技术采纳模型中截距变大。

互联网是信息的“集散地”, 通过信息扩散机制和信息共享机制, 打破蛋鸡养殖户的信息获取壁垒, 降低了固定交易成本 (黄腾, 2018)。具体来看: 第一, 互联网打破蛋鸡养殖户的信息获取壁垒, 为农户提供了各类技术信息、政策信息、价格信息以及知识信息等, 使得技术交易的市场环境更为透明, 减少了卖方“投机倒把”的机会主义, 更降低了养殖户作为买方被“敲竹杠”的概率; 第二, 互联网应用拓宽了养殖户-买方所需要的人脉关系资源渠道, 结识更多交易方以及产业同行, 增加交流机会, 加深对精准农业技术的认知。因此, 互联网应用有助于激励原本缺乏支付较高交易成本能力的养殖户进入精准农业技术采纳的市场中来。此时, 精准农业技术采纳曲线从  $S_2$  平行上升至  $S_3$ 。由此, 本文提出如下研究假说:

假说 2a: 互联网应用能够通过降低精准农业技术采纳的固定交易成本, 提高精准农业技术采纳程度。

当采纳精准农业技术存在交易成本时, 意味着精准农业技术采纳程度越高, 养殖规模越大, 其交易成本越高。随着精准农业技术采纳程度提高, 道德风险和机会主义行为倾向造成交易成本增加, 导

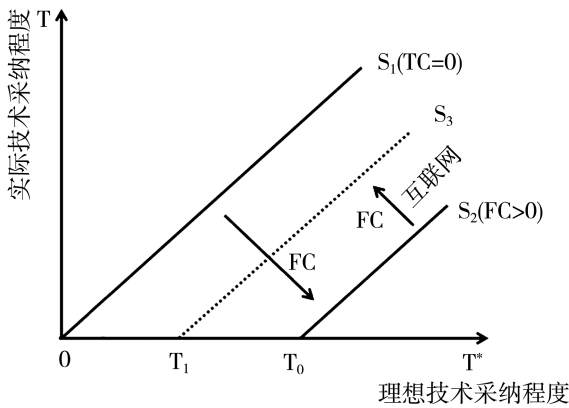


图4 精准农业技术采纳的固定交易成本分析

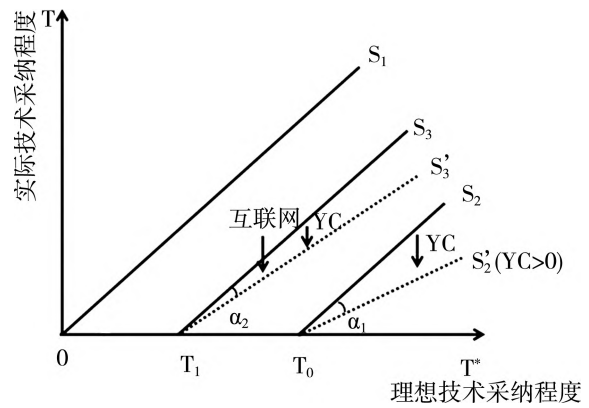


图5 精准农业技术采纳的可变交易成本分析

致技术采纳程度降低。此时,蛋鸡养殖户精准农业技术采纳曲线由  $S_2$  旋转至  $S_2'$  (见图5),即  $T^* > T_0$ 。互联网应用可以降低养殖户的可变交易成本,具体来看:第一,养殖户通过互联网使用,有助于了解精准农业技术的采纳成本、技术操作方式以及技术知识,促进对精准农业技术的了解,能够降低信息成本;第二,蛋鸡养殖户通过互联网应用,可以缩短交易过程的谈判时间,了解更多技术产品,提高议价能力,有助于降低谈判成本;第三,蛋鸡养殖户通过应用互联网,能够净化市场交易环境,减少假冒伪劣技术产品的产生,在饱和的市场交易环境中,为争取更多养殖场客户,其上门服务 and 后续跟踪服务水平均有所提升,能够降低精准农业技术采纳的执行成本。在互联网应用的条件下,精准农业技术采纳曲线由  $S_3$  旋转至  $S_3'$ ,且  $\angle \alpha_2$  小于  $\angle \alpha_1$ 。换言之,此时的蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度更接近其需求。由此,本文提出如下研究假说:

假说 2b: 互联网应用能够通过降低精准农业技术采纳的可变交易成本,提高精准农业技术采纳程度。

假说 2c: 互联网应用能够通过降低精准农业技术采纳的交易成本,提高精准农业技术采纳程度。

### (三) 信息供需匹配的中介作用

信息论和控制论将信息定义为“用来消除随机和不确定性的东西”,任何行为都以信息为基础 (Saha, 1994)。信息供需匹配是指蛋鸡养殖户所能够获得精准农业技术相关的政策信息、操作信息、成本信息和知识信息的信息量与其实际需求之间的满足程度 (闫迪等, 2020),是农户获取农业信息后、信息需求是否得到满足的结果状态,包括信息供需匹配环境和信息供需匹配程度,本文重点探究信息供需匹配程度。

互联网作为信息的“集散地”,首先互联网应用突破了政府推广、传统媒体信息传播以及人际推广的时空限制,通过信息扩散机制和信息共享机制,打破蛋鸡养殖户的信息获取壁垒,提高信息传播效率;与此同时,互联网创新了短视频、专家讲座等多种信息供给的有效形式,降低了学习知识的门槛,提高了农户的信息解读效率。随着互联网应用程度提高,信息供给数量也就越多,通过互联网设备所获取的“用来消除随机和不确定性的东西”越多,农户的信息储备水平越高,需求被满足的程度越高,信息匹配程度就越高。因此,互联网应用有助于信息供需匹配程度的提高。

信息需求与信息供给有效匹配,显著促进农户对新技术信息的掌握程度,逐步积累新技术相关的知识,了解新技术的操作信息,把握其内涵知识,影响农户关于新旧技术转换难度的感知,进而消除使用新技术的障碍,缩小新旧技术间转换的“距离” (朱月季等, 2021),作用于农户的技术采纳决策。由此,本文提出如下研究假说:

假说 3:信息供需匹配在互联网应用影响精准农业技术采纳的过程中发挥中介效应。

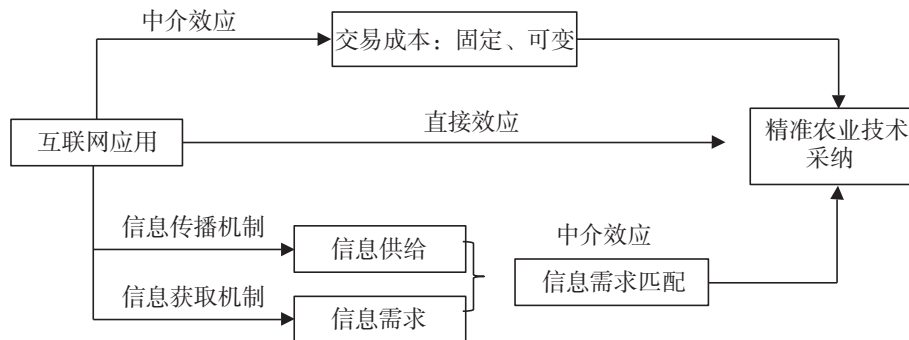


图 6 理论分析框架

### 三、数据来源与描述性分析

#### (一) 数据来源

在充分考虑地域因素和经济因素的情况下,本次调研区域主要包括 9 个省份,分别是东部的山东、河北、江苏,中部的河南、安徽,西部的四川、重庆,东北的吉林、辽宁\*。考虑到所涉及的调研省份较多,加之受新冠疫情的影响,基于全国畜牧总站畜牧业经济研究基金课题,课题组委托各省份地方畜牧工作人员依托全国畜牧总站固定监测点,在省内按照对称等距抽样方式确定定点监测县,进而对于监测县进行分层抽样,选择大规模、中规模、小规模蛋鸡养殖户开展专项调研。问卷调查主要采用“一对一”访谈形式,对养殖场场主或参与生产经营决策的主要家庭成员进行调查,内容包括:养殖场生产经营情况、成本收益情况、精准技术采纳、互联网应用情况、个人及家庭特征等。本次调查共抽取 1324 个养殖户,其中有效问卷为 1212 份,有效问卷率为 92%。调研对象包括农户、合作社、家庭农场和公司,考虑到公司类型的养殖主体规模较大,管理者和决策者身份分离,精准技术较为完备,加之公司类型的蛋鸡养殖场技术决策并非主要依赖互联网应用,所以剔除 305 个公司样本,对 907 个蛋鸡养殖户进行研究。

#### (二) 主要变量与描述性统计

1. 被解释变量。国际精准农业协会(2019)提出,精准农业是一种管理策略,是通过收集、处理和分析时空数据、个体数据以及其他相关信息,制定基于变异规律的管理决策。从畜牧养殖的角度来说,是以信息感知为基础,构建基于环境、营养、生理与生产调控模型,将畜牧业领域的知识与养殖设备结合起来,形成针对不同畜禽的精准饲喂理论与管控技术。考虑到蛋鸡产业精准农业技术的技术属性、产业无抗发展的大环境、未来规模发展的大趋势以及蛋鸡精准饲喂的关键环节(蒋林树等,2020),本文将蛋鸡产业的精准农业技术集中到精准日粮技术、精准营养技术、分段饲喂技术、精准防疫技术、精准环控技术 5 项子技术,以此作为蛋鸡产业精准农业技术采纳的代理指标变量,子技术具体概念如表 2 所示,并利用熵值法测算其精准饲喂的程度。

\* 根据《中国统计年鉴 2022》,9 个省份禽蛋产量全国占比 68.74%;根据产业数据(爱禽社)2020 年蛋鸡存栏量分布,以上 9 个省份产蛋鸡存栏全国占比 70.74%,故以上 9 省份的调研样本,不仅可以反映出鸡蛋主产区的互联网应用及精准农业技术采纳情况,也可以代表国内农户层面精准农业技术采纳的先进水平,因此基于以上 9 个省份样本的研究结论,具有一定的指导意义和前瞻性

表 2 精准农业技术子项概念解释

变量	含义	参考文献
精准日粮技术	产蛋鸡对能量的需求通过调节采食量来满足,不同阶段、不同季节其饲料次数会有所不同,产蛋鸡日喂 3 次,产蛋高峰期还可增为 4 次	王旭贞,2015
精准营养技术	根据蛋鸡的不同生长阶段,依据鸡群情况采取不同营养水平的日粮配制,实施精准营养喂养,满足鸡群各生理阶段或各种状态下的营养需求	王献忠,2019
分段饲喂技术	产蛋鸡在 1 日内对能量、蛋白、钙和磷等营养需求有所不同,上午形成蛋清等,需要高能量、高蛋白的饲料;下午和晚上形成蛋壳,需加强钙、磷产品的投入,以此满足产蛋的需要	朱清杰等,2019
精准防疫技术	通过免疫接种进行常见蛋鸡疾病预防。在生产实践中,蛋鸡养殖户主要依据养殖经验、防疫程序表以及抗体监测进行防疫,其科学性:抗体监测>免疫程序表>养殖经验	戴爱琴,2021
精准环控技术	鸡舍环境温度、湿度、通风、光照等对蛋鸡健康有很大影响。环境监控调节技术依靠智能化、自动化的环境监控设备自动调节温度、湿度、光照及有害气体,避免疾病发生,保证鸡群健康成长,提高养殖效率	经孝红,2021

精准农业技术的问题设置及各指标的熵值法权重如表 3 所示。需要特别说明的是,精准防疫技术的选择为多选项,若依据为“抗体检测”或“抗体检测+”则赋值为 3;若依据为“免疫程序表”或“免疫程序表+养殖经验”则赋值为 2;若依据仅为“养殖经验”则赋值为 1。

表 3 精准农业技术各项指标权重

变量	问题设置	权重(%)
精准日粮技术	进入产蛋期后,贵养殖场每日饲喂的次数:_____次/日	5.03
精准营养技术	根据不同日龄配制喂养不同的饲料,在实际喂养过程中,您分为_____个不同的阶段	21.26
分段饲喂技术	产蛋期,是否会在下午的饲料中,专门添加石粉或其他钙类物质:1=是;0=否	19.62
精准防疫技术	贵养殖场进行免疫程序的模式是:1=个人养殖经验;2=按照地方畜牧站提供的免疫程序表-日龄;3=抗体检测	7.93
精准环控技术	是否配备能够自动收集温度、湿度、噪声、光照、气体(氨气、二氧化碳等)参数,并上传至控制中心,对鸡舍环境进行监测和控制的监控系统:1=是;0=否	46.16

2. 解释变量:互联网应用。互联网应用是指信息时代背景下,蛋鸡养殖户通过使用互联网获取的信息与服务,以满足个人需求和养殖需求,以期实现利润最大化的行为,已有研究指标从是否接入信息设备、能否获取农业信息为主,难以反映当下农户互联网应用的现状。参考已有研究(邱磊菊等,2022),选用“每日查询蛋鸡产业相关信息的互联网应用时长”来表征,并选择“蛋鸡养殖微信群数量”“使用手机查询蛋鸡养殖信息的频率”“使用电脑查询蛋鸡养殖信息的频率”作为解释变量的替换变量,进行稳健性检验。

3. 工具变量:本文选取“村庄中接入互联网的家庭户数占比”和“农户是否参加过互联网技术培训”作为工具变量。“村庄中接入互联网的家庭户数占比”反映出该村庄互联网投入的集聚程度,即网络通达程度,同时考虑到农村区域的地缘、血缘和亲缘关系较强,该变量也能够表现出使用网络的



积极性,因此,村中联网比例能够显著提高互联网的应用程度(刘子涵等,2021)。“农户是否参加互联网技术培训”通过增强农户互联网应用水平,对农户的互联网应用行为具有重要影响(闫迪等,2021)。与此同时,技术采纳与否由蛋鸡养殖户的个人与家庭共同决策,区域层面的互联网通达程度和互联网技术培训并不会直接影响养殖户的技术采纳。因此,村中联网比例和互联网技术培训能够满足有效工具变量所需的相关性和外生性条件,能够作为工具变量。

4. 控制变量。借鉴已有研究(朱一鸣等,2019;闫迪等,2021),选取采访者特征(性别、年龄、受教育程度、健康状况、风险感知)、家庭特征(经营性质、土地租期、政治身份、养殖场与政府的距离)、生产经营特征(新型经营主体、品种、标准化级别、养殖经验、养殖规模、养殖保险)作为控制变量。

表4 变量定义与描述性统计

变量	说明	均值	标准差	最小值	最大值
精准农业技术采纳	熵值法测算精准技术采纳程度	0.3302	0.2444	0.0000	0.9665
互联网应用	蛋鸡互联网应用时长(小时/日)	1.2390	0.7589	0.0000	4.0000
性别	1=男;0=女	0.8699	0.3366	0.0000	1.0000
年龄	年龄(岁)	47.9438	8.2087	25.0000	72.0000
教育	0=未受正式教育;6=小学;9=初中;12=高中、中专、技校;15=大专;16=本科及以上	10.3903	2.6142	0.0000	16.0000
政治身份	家中是否有党员、村干部或公务员;1=有;0=无	0.2426	0.4289	0.0000	1.0000
健康情况	1=非常差;2=比较差;3=一般;4=比较好;5=非常好	3.9294	0.8148	1.0000	5.0000
风险感知	1=风险规避;2=风险中立;3=风险偏好	2.1246	0.5858	1.0000	3.0000
养殖经验	从事蛋鸡养殖的时间(年)	14.1069	7.4293	1.0000	37.0000
经营性质	蛋鸡养殖收入/家庭总收入	77.5115	22.6517	10.0000	100.0000
新型经营主体	1=合作社或家庭农场;0=农户	0.4068	0.4915	0.0000	1.0000
土地租期	租期(年)	9.7938	14.2323	0.0000	70.0000
养殖场与政府的距离	离最近的乡镇政府有多远(公里)	7.4450	6.6904	0.5000	100.0000
品种	1=国内品种(京系列、花凤、新杨黑等);0=国外品种(海兰、罗曼)	0.3252	0.4687	0.0000	1.0000
标准化级别	1=非标准化养殖场;2=县级标准化养殖场;3=市级;4=省级;5=国家级	1.9757	0.9034	1.0000	5.0000
养殖规模	该养殖场的设计存栏量(万只)	2.5301	2.5540	0.0100	18.0000
养殖保险	1=是;0=否	0.2381	0.4262	0.0000	1.0000
互联网技术培训	1=是;0=否	0.5072	0.5002	0.0000	1.0000
村中联网比例	村庄中接入互联网的家庭户数占比(%)	75.5777	13.8083	30.0000	100.0000

5. 中介变量—技术交易成本。采用熵值法对指标进行测算,其中固定交易成本包括实物资产专用性和关系资产专用性,可变交易成本指的是谈判成本、信息成本和执行成本等。综合范慧荣(2021)、侯建响(2017)研究,实物资产专用性指的是蛋鸡养殖户的新增固定资产投资额,包括新增固定设备投资费用及维护费用等;关系资产专用性指的是蛋鸡养殖户在养殖生产中所形成的人脉多寡,且难以用作它途。因此,考虑到蛋鸡养殖的专业性,新技术采纳必然配备相应的实物资产和关系资产投资,故本文选用新增固定资产投资额、结识的同行数量为代理变量,对实物资产专用性和关系资产专用性进行度量。

表 5 交易成本变量定义与描述性统计

变量	说明	均值	标准差	最小值	最大值
交易成本	固定交易成本+可变交易成本	1.5653	0.3881	0.3956	3.4150
固定交易成本	熵值法测算实物资产专用性指标和关系资产专用性指标得分	0.4474	0.1513	0.0547	0.9129
实物资产专用性	新增固定资产投资额	2.4426	1.2869	0.0753	8.0010
关系资产专用性	同行数量:1=非常多;2=比较多;3=一般;4=比较少;5=非常少	3.5766	1.0773	1.0000	5.0000
可变交易成本	信息成本+谈判成本+执行成本	1.1179	0.3442	0.0000	2.8370
信息成本	熵值法测算信息搜寻难度、技术操作了解程度、技术成本了解程度指标得分	0.4962	0.1511	0.0000	1.0000
谈判成本	熵值法测算谈判时间、议价能力、与卖家联系次数指标得分	0.5268	0.1539	0.0000	1.0000
执行成本	熵值法测算交易违约度、服务方式和后续服务质量指标得分	0.0949	0.2117	0.0000	1.0000

6. 中介变量—信息供需匹配程度,包括信息供需匹配程度及其子项政策信息匹配度、操作信息匹配度、成本信息匹配度和知识信息匹配度。本文选取技术配套的政策信息、操作信息、成本信息、知识信息的需求力度和供给力度,供给力度选用“通过您身边的亲戚朋友、互联网、微信、抖音、政府、经销商等各种渠道,所能获得的该类信息力度,从 1~5 打分:1=非常少,2=比较少,3=一般,4=比较多,5=非常多”;需求力度选用“您个人所需要的该类信息需求力度,从 1~5 打分:1=非常不需要,2=比较不需要,3=一般,4=比较需要,5=特别需要”。借鉴闫迪(2020)对菜农信息供需匹配的三角函数测算方式对此蛋鸡养殖户的信息供需匹配程度进行测度。

表 6 信息供需匹配及子项定义与描述性统计

变量	说明	均值	标准差	最小值	最大值
信息匹配程度	(政策信息匹配度+操作信息匹配度+成本信息匹配度+知识信息匹配度)/4	0.9739	0.0355	0.8321	1.0000
政策信息匹配度		0.9652	0.0479	0.8321	1.0000
操作信息匹配度	利用三角函数对信息供给力度和信息需求力度的测算所得	0.9747	0.0388	0.8321	1.0000
成本信息匹配度		0.9772	0.0365	0.8321	1.0000
知识信息匹配度		0.9783	0.0363	0.8321	1.0000

## 四、研究方法

### (一) 精准农业技术采纳程度指数构建:熵值法

运用熵值法对蛋鸡养殖户精准技术采纳程度进行测度评分。熵值法根据信息熵原理来判断评价指标的离散程度进行客观赋权,能够避免主观因素误差,使评价结果更加客观公正。

步骤一:原始数据标准化。

该评价体系共有  $n$  个样本(2022 年 907 个蛋鸡养殖场户样本)、 $m$  个评价指标。其中,  $x_{ik}$  表示第  $i$  个样本的第  $k$  个评价指标数据。采用极值标准化法消除变量的量纲效应以及数值差异产生的影响,由于评价指标均为正向指标,其极值标准化处理方式如下:

$$\text{正向指标: } x'_{ik} = \frac{x_{ik} - x_{\min,k}}{x_{\max,k} - x_{\min,k}} \quad (10)$$

$x_{\max,k}$ 、 $x_{\min,k}$  分别表示第  $k$  个评价指标在 907 个样本中的最大数据与最小数据。原始数据标准化处理后得  $x'_{ik}$ , 取值范围为  $[0, 1]$ , 表示该评价指标在 907 个样本中的相对大小。鉴于原始数据经过标准化后会出现零值, 因此需要进一步进行平移处理:

$$x''_{ik} = x'_{ik} + 0.00001 \quad (11)$$

步骤二: 计算第  $k$  项指标权重。

$$p_{ik} = \frac{x''_{ik}}{\sum_i x''_{ik}} \quad (12)$$

步骤三: 计算第  $k$  项指标的熵值。

$$e_k = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_i p_{ik} \ln(p_{ik}) \quad (13)$$

步骤四: 计算第  $k$  项指标的差异系数。

$$g_k = 1 - e_k \quad (14)$$

步骤五: 对差异系数归一化, 计算第  $k$  项的权重。

$$w_k = \frac{g_k}{\sum_k g_k} \quad (15)$$

步骤六: 计算最终的测度结果。

$$M_i = \sum_k w_k x''_{ik} \quad (16)$$

其中,  $M_i$  为第  $i$  个样本的精准技术采纳得分, 其值越大, 表明该样本精准化程度越高。

## (二) 信息供需匹配程度测算方式

借鉴闫迪等(2020)对菜农信息供需匹配的研究, 基于信息供给和信息需求的相似性, 通过相似性理论构建信息供需匹配模型, 采用函数关系对信息供给和信息需求的关系进行信息供需匹配程度( $\lambda_i$ )的测算, 方式如下:

$$\lambda_i = \cos(\theta_i - 45^\circ) \quad (17)$$

$$\cos(\theta_i) = \frac{\chi_i^d}{\sqrt{(\chi_i^d)^2 + (\chi_i^s)^2}} \quad (18)$$

其中,  $\chi_i^s$  表示信息的供给程度,  $\chi_i^d$  表示信息的需求程度,  $\theta_i$  表示信息供给与信息需求在坐标系上的夹角。  $\lambda_i$  为信息供需匹配程度, 数值越大, 表示其匹配程度越高, 若信息供需匹配程度为 1, 则表示完美信息供需匹配, 表示该农户在农业生产过程中实际需要的该类信息与各信息渠道所供给的该类信息是完全一致的, 能够满足其需求。

## (三) 基准模型: Tobit 模型

考虑到精准技术采纳程度取值范围为  $0 \sim 1$ , 符合受限因变量模型条件, 故选择受限变量模型 Tobit 模型来进行探究(郝爱民等, 2023), 模型如下:

$$u_i = \beta_0 + \sum_1^n \beta_i x_i + \varepsilon_i \quad (19)$$

其中,  $u_i$  为被解释变量,  $x_i$  为解释变量,  $\beta_0$  为常数项,  $\beta_i$  表示模型中各解释变量的待估参数,  $\varepsilon_i$  表示随机扰动项服从正态分布,  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

所以, 蛋鸡养殖户精准农业技术采纳影响因素的回归模型如下:

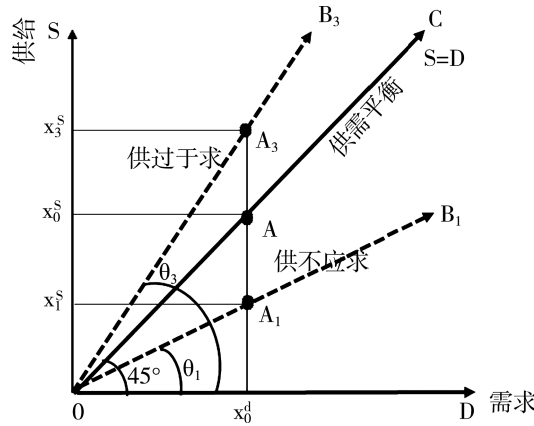


图 7 信息供需匹配模型

$$PAT_i = \alpha_0 + \beta_1 int_i \dots + \sum \beta_n x_i + \varepsilon_i \tag{20}$$

其中,  $PAT_i$  表示第  $i$  个样本精准农业技术采纳程度,  $int_i$  表示互联网应用时长,  $x_n$  为控制变量,  $\beta_1 \sim \beta_n$  表示待估参数,  $\alpha_0$  为常数项、 $\varepsilon_i$  为随机扰动项。

(四) 内生性检验: 工具变量法

通过互联网应用获取蛋鸡行业信息作为个人决策, 在与农户技术采纳行为的影响研究中, 可能存在反向因果或者遗漏变量导致的潜在自选择问题, 为解决这一问题, 本文采用常用的工具变量方法, 确定一个与存在内生性的互联网应用行为相关的变量, 但是要具备外生性条件的变量作为互联网应用的工具变量, 然后使用 IV-Tobit 模型来得到参数  $\beta$  的一致估计。具体模型设定如下:

$$int_i = \alpha_0 + \alpha_1 IV_i + \sum \alpha_n x_i + \zeta_i \tag{21}$$

$$PAT_i = \beta_0 + \beta_1 IV_i + \sum \beta_n x_i + \varepsilon_i \tag{22}$$

其中,  $IV$  为工具变量, 本研究选取村中联网比例 ( $itr$ )、互联网技术培训 ( $itt$ ) 作为互联网应用时长  $int$  的工具变量。

(五) 中介效应模型

为了进一步验证交易成本、信息供需匹配在互联网与精准技术采纳关系中的中介作用, 根据温忠麟等 (2014)、Baron 等 (1986) 等, 采用依次检验方法进行估计:

$$PAT_i = \beta_0 + \beta_1 int_i L + \sum \beta_n x_i + \varepsilon_{i1} \tag{23}$$

$$MV_i = \chi_0 + \chi_1 int_i L + \sum \chi_n x_i + \varepsilon_{i2} \tag{24}$$

$$PAT_i = \delta_0 + \delta_1 int_i + \delta_2 MV_i L + \sum \delta_n x_i + \varepsilon_{i3} \tag{25}$$

其中, (23) 式、(24) 式,  $MV$  为中介变量, 包括交易成本  $TC$ 、信息供需匹配程度  $ISD$ 。(23) 式表示互联网应用对精准农业技术采纳程度影响的总效应, (24) 式表示互联网应用对中介变量信息供需匹配程度、交易成本的影响效应, (25) 式中的系数  $\delta_2$  表示中介变量信息供需匹配程度、交易成本对精准农业技术采纳的直接效应。将 (24) 式代入 (25) 式可得到中介变量的中介效应  $\delta_2 \chi_1$ , 即互联网应用通过中介变量信息供需匹配、交易成本对精准农业技术采纳产生的影响。若  $\delta_2 \chi_1$  和  $\delta_2$  同号, 说明信息供需匹配、交易成本在互联网应用与精准技术采纳的影响中起中介作用; 若  $\delta_2 \chi_1$  和  $\delta_2$  为异号, 则说明信息供需匹配、交易成本在其中有遮掩效应。

## 五、实证结果分析

## (一) 基准回归

蛋鸡养殖户互联网应用时长对精准农业技术采纳程度的影响回归结果,如表7所示。表7中模型(1)(2)为互联网应用时长对精准农业技术采纳的影响及边际效应,模型(3)(4)为加入控制变量后,互联网应用时长对精准农业技术采纳的影响及边际效应,以上模型卡方检验的伴随概率均为0.0000,说明模型通过稳健性检验且拟合度较好,具有较好的解释能力。

表7 互联网应用时长对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度的影响

变量	(1) 系数	(2) 边际效应	(3) 系数	(4) 边际效应
互联网应用时长	0.0682 <sup>***</sup> (6.5255)	0.0503 <sup>***</sup> (6.5331)	0.0546 <sup>***</sup> (5.6246)	0.0415 <sup>***</sup> (5.6326)
性别			-0.0534 <sup>**</sup> (-2.4160)	-0.0406 <sup>**</sup> (-2.4168)
年龄			0.0007 (0.7268)	0.0005 (0.7269)
教育			0.0008 (0.2478)	0.0006 (0.2478)
政治身份			0.0079 (0.4383)	0.0060 (0.4383)
健康情况			0.0074 (0.8069)	0.0057 (0.8069)
风险感知			0.0113 (0.8677)	0.0086 (0.8676)
养殖经验			-0.0002 (-0.2207)	-0.0002 (-0.2207)
经营性质			-0.0002 (-0.6498)	-0.0002 (-0.6498)
新型经营主体			0.0641 <sup>***</sup> (3.9467)	0.0488 <sup>**</sup> (3.9491)
土地租期			0.0014 <sup>**</sup> (2.5236)	0.0011 <sup>**</sup> (2.5246)
养殖场与政府的距离			0.0033 <sup>***</sup> (2.8836)	0.0025 <sup>***</sup> (2.8855)
品种			0.0245 (1.5142)	0.0186 (1.5144)
标准化级别			0.0062 (0.7057)	0.0047 (0.7057)
养殖规模			0.0189 <sup>***</sup> (5.8389)	0.0144 <sup>***</sup> (5.8560)
养殖保险			0.0671 <sup>***</sup> (3.7129)	0.0510 <sup>***</sup> (3.7167)
常数	0.2457 <sup>***</sup> (16.1806)		0.0751 (0.9285)	
区域—虚拟变量	—	—	是	是
卡方检验	41.6130		207.8946	
伴随概率	0.0000		0.0000	
样本量	907	907	907	907

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。括号内为 t 值。下同

由回归结果可知,互联网应用时长对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度具有显著的正向影响,在控制了其他变量的基础上,互联网应用时长对技术采纳的影响系数为0.0415,在1%的水平上显著。信息是农业生产经营者减少不确定性的主要影响因素,在不完全信息情境下,养殖户通过应用互联网获取丰富的蛋鸡行业信息,通过学习和交流对蛋鸡行业的品种、饲料技术、技术设备有了更深入的了解,丰富了养殖技巧与经验、提升个人生产能力,从而可以促进精准技术的采纳。

个人特征变量中,性别为男性显著抑制了精准农业技术采纳。分析其中的原因可能在于,蛋鸡养殖是一项需要长期投入劳动力的持续性产业,从性别的角度来说,女性的体力弱于男性,更愿意采用精细化技术来弥补体力的弱势。而党员和村干部的政治身份,在人情社会的农村,通过党员身份的带头作用和带动作用,有助于其采纳技术,但在此模型中政治身份的加持对精准农业技术采纳的影响并不显著。

家庭特征变量中,租入土地可以促进精准技术采纳程度,从养殖规模的视角,租入土地的蛋鸡养殖户,其规模相对更大,配备先进的精准养殖设备,具备更科学的蛋鸡养殖知识,更有助于采纳先进的技术。从养殖场与政府的距离来看,养殖场与政府的距离提高了精准养殖技术的采纳程度,这与已有研究有所不同(冯晓龙等,2018),可能的原因在于养殖环保政策的限制和兼业机会成本获取的可能性。与政府距离较远的养殖户相比,一方面,距离较近的养殖户受养殖环保、土地政策限制,其养殖规模相对更小;另一方面,距离较近的养殖户其兼业化程度更高,对养殖收入的依赖更小,导致对蛋鸡养殖生产的重视程度相对较低(乔丹,2018),故而造成与政府距离较远的养殖户的精准技术采纳程度更高。

生产经营特征变量中,新型经营主体、养殖规模以及是否购买蛋鸡养殖保险,更有助于提高精准技术采纳程度的概率。新型经营主体作为农户中的先锋代表,养殖规模越大的养殖户,具备更先进的养殖观念及设备投入,其更愿意采纳先进的技术;购买蛋鸡养殖保险,降低了采纳新技术的风险,进而提高了技术采纳程度。

## (二) 内生性检验

为了克服变量的内生性问题,本文选取“村中联网比例”和“互联网技术培训”2个变量作为互联网应用的工具变量,利用IV-Tobit模型进行估计。

表8 互联网应用时长对精准农业技术采纳程度的影响:内生性处理

变量	模型(1)		模型(2)	
	第一阶段 互联网应用时长	第二阶段 技术采纳	第一阶段 互联网应用时长	第二阶段 技术采纳
互联网应用时长		0.1995 <sup>***</sup> (7.3616)		0.3246 <sup>***</sup> (10.3901)
村中联网比例	0.0227 <sup>***</sup> (13.0331)			
互联网技术培训			0.7074 <sup>***</sup> (14.0094)	
控制变量	是	是	是	是
区域—虚拟变量	是	是	是	是
F统计量		10.9800		12.4200
拟合优度		0.1904		0.2101
沃德检验		44.7500		210.9400
伴随概率		0.0000		0.0000
样本量	907	907	907	907

村中联网比例的内生检验结果如表 8 模型(1)所示。根据第一阶段的结果,“村中联网比例”能够显著促进互联网应用程度,满足工具变量的相关性检验,且 F 统计量为 10.98,即 F 统计量大于 10,其伴随概率通过 1%的显著性水平检验,表明其不存在弱工具变量问题。在二阶段的回归中,Wald 检验结果表明可以拒绝外生性原假设,说明该工具变量是有效的,互联网应用时长可以显著促进精准农业技术采纳程度,本文的研究结论稳健。

互联网技术培训的回归结果如表 8 模型(2)所示,同样通过 F 检验和 Wald 检验,研究结论依旧稳健。

### (三) 稳健性检验

本文选用手机查询蛋鸡养殖信息频率、电脑查询蛋鸡养殖信息频率、蛋鸡养殖微信交流群数量作为替换变量,进行稳健性检验,回归结果如表 9 所示,其系数分别为 0.0375、0.0261、0.0060,其实证结果显示均为正向影响,且在 1%的水平上通过显著性检验,结论具有稳健性,可见互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度具有显著的促进作用。

表 9 稳健性检验结果

变量	模型(1) 精准农业技术采纳	模型(2) 精准农业技术采纳	模型(3) 精准农业技术采纳
手机查询频率	0.0375*** (5.5234)		
电脑查询频率		0.0261*** (5.2655)	
蛋鸡养殖微信交流群			0.0060*** (3.7862)
控制变量		已控制	
常数	0.0219 (0.2664)	0.1365* (1.6977)	0.1122 (1.3847)
卡方检验	206.8036	204.1075	191.0201
伴随概率	0.0000	0.0000	0.0000
样本量	907	907	907

### (四) 异质性分析

规模视角的互联网应用对精准农业技术采纳程度回归结果如表 10 所示。由表 10 可知,养殖规模在 2 万~10 万的养殖户互联网应用更能促进精准农业技术采纳程度。当养殖规模较小,初始禀赋较弱,互联网应用水平及精准农业技术采纳程度均受限。规模大于 10 万的样本,系数为正且不显著,一则是因为样本过少,样本代表性有所降低,二则大规模蛋鸡养殖户信息获取渠道较多,对互联网信息渠道依赖较小,导致互联网影响系数虽为正,但并不显著。

区域视角的互联网应用时长对蛋鸡养殖户技术采纳的影响结果如表 11 所示。由回归结果可知,相较于西部地区,东部地区、中部地区和东北部地区的互联网普及率更高,且经济优势更为显著,其蛋鸡养殖发展相对更早,故东部地区、中部地区和东北地区的蛋鸡养殖户互联网应用更能提高精准技术的采纳程度,而西部地区的蛋鸡养殖户互联网应用对精准技术采纳影响不显著。

表 10 规模异质性回归结果

变量	(1) 小于 1 万	(2) 1~2 万	(3) 2~5 万	(4) 5~10 万	(5) 大于 10 万
互联网应用时长	0.0134 (1.2223)	0.0402** (2.1950)	0.0723*** (4.2289)	0.1231*** (3.6372)	0.0783 (0.8892)
控制变量			已控制		
常数	0.0163 (0.1707)	0.2116 (1.3007)	0.2188 (1.3993)	0.3277 (1.1846)	-0.0423 (-0.0787)
样本量	178	289	289	121	30

表 11 区域异质性回归结果

变量	东部	中部	西部	东北
互联网应用时长	0.0656*** (4.5008)	0.0747*** (3.0698)	0.0443 (1.6356)	0.0517*** (3.1099)
控制变量			已控制	
常数	0.2913** (2.4304)	-0.2609 (-1.3911)	0.5550** (2.0224)	-0.0348 (-0.2556)
样本量	398	163	100	246

(五) 交易成本的中介效应分析

参考温忠麟(2014)等提出的逐步回归法,验证交易成本的中介作用,结果如表 12 所示,实证结果均通过了显著性检验,表明交易成本在互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳影响过程中起中介作用。互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度有显著的促进作用,且互联网应用能够降低蛋鸡养殖户交易成本。在控制其他变量后,中介变量交易成本对精准农业技术采纳程度仍具有显著的促进作用,且系数显著变小,表明交易成本能够在互联网影响技术采纳的过程中发挥中介作用。那么,交易成本的中介效应占总效应的比重为: $\delta_2 \lambda_1 / \beta_1 = 0.1221 \times 0.0755 / 0.0546 \approx 0.1688$ ,即互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度的促进作用,大约有 16.88%是通过降低交易成本实现的。

表 12 交易成本的中介效应回归结果

变量	(1) 技术采纳	(2) 交易成本	(3) 技术采纳
互联网应用时长	0.0546*** (5.6246)	-0.0755*** (-4.8100)	0.0454*** (4.7092)
交易成本			-0.1221*** (-6.0652)
控制变量		已控制	
区域—虚拟变量		已控制	
常数	0.0720 (0.8922)	2.3879*** (18.2973)	0.3636*** (3.9271)
卡方检验	207.8946	175.3128	243.9542
伴随概率	0.0000	0.0000	0.0000
样本量	907	907	907



表 13 固定交易成本和可变交易成本的中介效应回归

变量	(1)	(2)		(3)		(4)		(5)	
	技术采纳	固定交易成本	技术采纳	信息成本	技术采纳	谈判成本	技术采纳	执行成本	技术采纳
互联网应用	0.0546*** (5.6246)	-0.0154** (-2.3965)	0.0501*** (5.2435)	-0.0160** (-2.5445)	0.0519*** (5.3626)	-0.0293*** (-4.5560)	0.0489*** (5.0243)	-0.0147 (-1.6183)	0.0540*** (5.5592)
固定交易成本			-0.2917*** (-5.9457)						
信息成本					-0.1662*** (-3.2657)				
谈判成本								-0.1938*** (-3.9010)	
执行成本									-0.0405 (-1.1432)
区域—虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
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	已控制
卡方检验	207.8946	80.8047	242.5745	121.0860	218.4973	115.0134	222.9860	68.0002	209.2006
伴随概率	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
中介效应占总效应比重		8.25%		4.89%		10.40%		1.09%	
Sobel 检验		2.198** (0.0280)		1.984** (0.0472)		2.929*** (0.0034)		0.9230 (0.3560)	
Bootstrap95%置信区间		[0.0003, 0.0087]		[0.0004, 0.0058]		[0.0014, 0.0099]		[-0.0007, 0.0019]	

注: Sobel 检验行分别表示 Z 值和标准误。下同

从固定交易成本来看,互联网应用能够显著降低固定交易成本,进而促进精准农业技术采纳,中介效应比重为 8.25%。可能的原因在于:一方面,互联网的普及规范了技术交易的市场环境,使得技术的服务价格和采用价格等更为透明,活跃的要素市场有助于分摊实物资产专用性导致的固定成本;另一方面,互联网的普及有助于蛋鸡养殖户扩展蛋鸡养殖行业的人脉关系网络,能够获取更多行业信息。

从可变交易成本来看,互联网应用通过降低信息成本和谈判成本,促进精准农业技术采纳,而执行成本的中介作用不显著。可能的原因在于,通过互联网技术的信息获取机制和互动机制,显著促进对精准农业技术的了解,提高养殖户的议价能力,从而显著降低信息成本和谈判成本;对执行成本而言,互联网的普及使技术交易市场破除地区壁垒,技术服务价格、要素价格更为透明,因而服务商通过区域壁垒套取机会成本的概率大大降低,并且在饱和的市场交易环境中,服务商为争取更多养殖场客户,其上门服务和后续跟踪服务水平显著提升,导致蛋鸡行业技术采纳的执行成本非常低,进而其中介效应不显著。

#### (六) 信息供需匹配的中介效应分析

信息供需匹配的中介效应模型回归结果如表 14 所示,结果均通过了显著性检验,充分表明互联网应用会直接影响蛋鸡养殖户精准农业技术采纳程度,也能够通过提高蛋鸡养殖户信息供需匹配程度促进养殖户精准农业技术采纳。具体来看,中介效应占总效应的比重为  $\delta_2 X_1 / \beta_1 = 0.6535 \times 0.0097 / 0.0546 \approx 0.1161$ ,表明互联网应用对养殖户精准农业技术采纳程度的促进作用,大约有 11.61% 是通过信息供需匹配实现的。

表 14 信息供需匹配的中介效应回归结果

变量	模型(1) 精准农业技术采纳	模型(2) 信息供需匹配	模型(3) 精准农业技术采纳
互联网应用时长	0.0546*** (5.6246)	0.0097*** (5.0887)	0.0498*** (5.0957)
信息供需匹配			0.6535*** (3.0876)
控制变量		已控制	
区域—虚拟变量		已控制	
常数	0.0720 (0.8922)	0.9638*** (61.2854)	-0.5553** (-2.5418)
卡方检验	207.8946	98.5197	217.3780
伴随概率	0.0000	0.0000	0.0000
样本量	907	907	907

进一步探究不同类型的信息供需匹配程度在互联网应用对精准农业技术采纳过程中发挥的影响效应,实证结果如表 15 所示。结果显示,政策信息供需匹配、操作信息供需匹配、成本信息供需匹配和知识信息供需匹配,在互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳的过程中,均存在中介效应。从信息异质性来看中介效应比重,操作信息供需匹配程度的中介效应占比为 11.86%、政策信息供需匹配程度的中介效应占比为 10.81%、知识信息供需匹配程度的中介效应占比为 8.43%、成本信息供需匹配程度的中介效应占比为 7.92%,由此从中介效应来看:操作信息>政策信息>知识信息>成本信息。

表 15 异质性信息匹配的中介效应差异

变量	模型(1)	模型(2)		模型(3)		模型(4)		模型(5)	
	精准农业技术采纳程度	政策信息		操作信息		成本信息		知识信息	
		政策信息供需匹配	精准农业技术采纳程度	操作信息供需匹配	精准农业技术采纳程度	成本信息供需匹配	精准农业技术采纳程度	知识信息供需匹配	精准农业技术采纳程度
互联网应用时长	0.0546*** (5.6246)	0.0132*** (4.8092)	0.0503*** (5.1458)	0.0117*** (4.8813)	0.0504*** (5.1578)	0.0082*** (3.7153)	0.0514*** (5.2758)	0.0087*** (3.8346)	0.0514*** (5.2715)
政策信息匹配			0.4470*** (2.8744)						
操作信息匹配				0.5533*** (2.8679)					
成本信息匹配						0.5272** (2.5697)			
知识信息匹配									0.5293** (2.5569)
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	已控制
卡方检验	207.8946	82.8937	216.1192	89.0810	216.0826	88.1951	214.4740	84.3127	214.4090
伴随概率	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
中介效应占总效应比重		10.81%		11.86%		7.92%		8.43%	
Sobel 检验		2.4310*** (0.0151)		2.3920*** (0.0168)		2.0590*** (0.0395)		2.0740*** (0.0380)	
Bootstrap95%置信区间		[0.0005,0.0081]		[0.0006,0.0078]		[0.0002,0.0059]		[0.0007,0.0068]	
样本量	907	907	907	907	907	907	907	907	907

蛋鸡养殖行业是资本密集型产业,也是知识密集型产业,其生产投入成本较高。农业技术的操作信息和知识信息通常具有比较强的“隐性”特征,尤其技术操作上的细节和隐含的知识信息通常需要找到一个精通该技术使用方法的学习对象,通过现场观摩、示范或者视频学习、交流才能获得,只有所需要的操作信息和知识信息得到有效满足,精准农业技术的采纳才能促进蛋鸡养殖户的提质增效。

## 六、研究结论与政策建议

为深入了解互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术采纳的影响,本文基于2022年907个蛋鸡养殖户调研样本数据,采用Tobit模型、IV-Tobit模型、中介效应模型分析互联网应用对蛋鸡养殖户精准农业技术程度的影响及作用路径。研究表明:(1)互联网作为重要的“新农具”,蛋鸡养殖户通过应用互联网可以显著地促进精准技术采纳程度。通过互联网应用可以获取丰富的蛋鸡行业信息,通过获取丰富的蛋鸡养殖信息资源、提升个人生产能力,积累蛋鸡养殖户养殖技巧与经验,引导农户行为,从而促进精准技术的采纳。(2)农户通过应用互联网可以降低交易成本,提高精准农业技术采纳,中介效应占比16.88%。分维度来看,互联网能够显著降低固定交易成本,中介效应显著;在可变交易成本中,信息成本和谈判成本中介效应显著,其中谈判成本中介效应更大一点,而执行成本中介效应不显著。(3)互联网应用也能够通过促进养殖户信息供需匹配,进而提高精准农业技术采纳程度,中介效应占总效应比重为11.61%。从中介效应占总效应的比重来看:操作信息>政策信息>知识信息>成本信息。

对此,本文提出如下政策建议:(1)完善农业技术推广平台,引导农户应用互联网。相较于互联网基础设施建设,现阶段农业方面的互联网软件平台更需重点关注,要重点研发契合数字乡村发展的技术产品和应用软件,搭建为“三农”服务的数字化平台,统筹数据管理、整合数据资源、精准数据分析、科学数据运用,实现农业的现代化生产与综合性服务,促进农户的互联网应用程度。(2)加强互联网信息传播,降低农户交易成本。通过互联网应用,进一步加强蛋鸡养殖户对精准农业技术的认知、了解新技术采纳的成本及预期收益、拓展蛋鸡养殖行业上下游企业的人脉关系网络、提高议价能力、降低谈判成本,进而制定新技术的推广路径。(3)强化信息服务,提高信息供需匹配程度。通过建设全国层面或地区层面专业性、权威性的农村综合信息服务平台,构建多元化、现代化的综合信息服务体系,满足农民个性化、多元化的农业信息需求,发挥各类信息资源的服务功能,提升信息服务质量与层次,让农民享受到所需的信息服务,提高信息供需匹配程度,发挥信息的生产力效能,促进农业和农村经济的发展,是互联网大数据时代各级政府的任务,也是农业农村现代化发展的应有之义。

## 参 考 文 献

1. Baron, R. M., Kenny, D. A. The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations. *Chapman and Hall*, 1986(6):1173~1182
2. Davis, R. A. A Cognitive-Behavioral Model of Pathological Internet Use. *Computers in Human Behavior*, 2001(2):187~195
3. Feder, G., Slade, R. The Acquisition of Information and the Adoption of New Technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 1984, 66
4. Key, N., Sadoulet, E., Janvry, A. D. Transactions Costs and Agricultural Household Supply Response. *American Journal of Agricultural Economics*, 2000(2):245~259
5. Saha, A., Love, H. A., Schwart, R. Adoption of Emerging Technologies Under Output Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*, 1994(4):836~846
6. Shehori-Bachrach, K. N. The Process of an Innovation Cycle. *American Journal of Agricultural Economics*, 1973(1)
7. Winter-Nelson, A., Temu, A. Impacts of Prices and Transactions Costs On Input Usage in a Liberalizing Economy: Evidence From Tanzanian Coffee Growers. *Agricultural Economics*, 2005(3):243~253

8. 陈哲,李晓静,夏显力. 互联网发展环境下多维教育对农户 Ipm 技术采纳行为的影响研究. 华中农业大学学报(社会科学版),2022(3):83~95
9. 程守文,齐振宏,田卓亚,刘哲. 互联网使用和风险偏好对农户生态种养技术持续采纳意愿的影响——以稻虾共作技术为例. 世界农业,2023(1):115~126
10. 戴爱琴. 蛋鸡免疫方法与注意事项. 畜禽业,2021(12):36~37
11. 丁李立,张露,张俊飏,刘勇. 信息获取渠道如何影响农户生产方式选择——基于 11 省食用菌种植户数据的考察. 农业现代化研究,2020(3):426~434
12. 范慧荣. 交易成本、资本禀赋对农户优质农产品销售渠道选择的影响——以眉县猕猴桃为例. 西北农林科技大学硕士学位论文,2022
13. 方向明,李姣媛. 精准农业:发展效益、国际经验与中国实践. 农业经济问题,2018(11):28~37
14. 冯晓龙,仇焕广,刘明月. 不同规模视角下产出风险对农户技术采用的影响——以苹果种植户测土配方施肥技术为例. 农业技术经济,2018(11):120~131
15. 郝爱民,谭家银. 农村产业融合赋能农业韧性的机理及效应测度. 农业技术经济,2023(7):88~107
16. 侯建响. 专业化苹果种植户市场行为研究——基于交易成本视角的理论和实证. 西北农林科技大学博士学位论文,2017
17. 黄腾. 互联网使用对苹果种植户安全生产行为的影响研究. 西北农林科技大学硕士学位论文,2018
18. 蒋林树,陈俊杰,熊本海. 畜禽精准饲喂技术与装备. 中国农业出版社有限公司,2020
19. 经孝红. 鸡舍自动化养殖环境控制技术优化分析. 今日畜牧兽医,2021(10):60
20. 刘子涵,辛贤,吕之望. 互联网农业信息获取促进了农户土地流转吗. 农业技术经济,2021(2):100~111
21. 潘忠党,於红梅. 互联网使用对传统媒体的冲击:从使用与评价切入. 新闻大学,2010(2):4~13
22. 邱磊菊,冯宜强,史宇鹏,孙宝文. 互联网使用会影响居民生育意愿吗. 人口研究,2022(3):3~15
23. 桑贤策,罗小锋. 新媒体使用对农户生物农药采纳行为的影响研究. 华中农业大学学报(社会科学版),2021(6):90~100+190
24. 司瑞石,张雪倩. 免耕技术采纳对农地转入户家庭收入结构的影响——基于陕西、甘肃、宁夏的微观实证. 干旱区资源与环境,2022(7):47~55
25. 佟大建,黄武,应瑞瑶. 基层公共农技推广对农户技术采纳的影响——以水稻科技示范为例. 中国农村观察,2018(4):59~73
26. 王献忠. 现代养鸡“12段+”精准饲喂技术. 北方牧业,2019(18):21~23
27. 王旭贞. 蛋鸡产蛋期的饲养管理技术. 中国畜禽种业,2015(12):142
28. 温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展. 心理科学进展,2014(5):731~745
29. 朱清杰,赵君和,张文英. 商品蛋鸡钙石(石粉等)添加需要注意的细节. 北方牧业,2019(18):23~24
30. 朱一鸣,马骥,李莎莎,朱宁. 蛋鸡养殖户专业化育成鸡选择行为分析. 农业技术经济,2019(5):99~109
31. 闫贝贝,张强强,刘天军. 手机使用能促进农户采用 Ipm 技术吗. 农业技术经济,2020(5):45~59
32. 姜维军,颜廷武,张俊飏. 互联网使用能否促进农户主动采纳秸秆还田技术——基于内生转换 Probit 模型的实证分析. 农业技术经济,2021(3):50~62
33. 乔丹. 社会网络与推广服务对农户节水灌溉技术采用影响研究. 西北农林科技大学博士学位论文,2018
34. 闫迪,郑少锋. 互联网使用能提高农户生产效率吗——以陕冀鲁三省蔬菜种植户为例. 南京农业大学学报(社会科学版),2021(1):155~166
35. 闫迪,郑少锋. 菜农信息供需匹配问题的实证分析——以山东省 1319 份样本农户为例. 世界农业,2020(3):82~91
36. 朱月季,杨倩,王芳. 社会网络对蕉农采纳资源节约型技术的影响机制——以水肥一体化技术为例. 资源科学,2021(6):1099~1114

## The Impact of Internet Application on the Adoption of Precision Agricultural Technology of Farmers: Empirical Analysis Based on 907 Layer Farmers

GUO Qiaoling, MA Ji

**Abstract:** Based on the microscopic survey data of 907 layer farms (households) in 2022, this paper uses Tobit model, IV-Tobit model, mediating effect model to verify the impact of Internet application on the adoption of precision agricultural technology, and further verify the mediating effect of matching degree between information supply & demand and transaction costs. The results show that: (1) The Internet, as an important “new agricultural tool”, can significantly promote the adoption of precision agriculture technology through Internet application. (2) Internet application can improve the adoption of precision agriculture technology in layer farms (households) by reducing transaction costs. From a multidimensional perspective, the Internet can significantly reduce fixed transaction costs, and the mediating effect is significant; Among the variable transaction costs, the mediating effect of information cost and negotiation cost is significant, of which the mediating effect of negotiation cost is larger, while the mediating effect of execution cost is not significant. (3) Internet application can improve the adoption of precision agriculture technology in layer farms (households) by improving the matching degree of information supply and demand of layer farms (households). From the perspective of mediating effect, operational information > policy information > knowledge information > cost information. Therefore, this paper puts forward policy recommendations to guide farmers’ internet application behavior, improve the information service system, enhance the matching degree of information supply and demand, and boost the development of precision agriculture.

**Keywords:** Internet application; Transaction costs; Matching degree of information supply and demand; Mediating effect

责任编辑:鄂昱州