

何可,朱润,罗斯炫.规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的决定因素:基于互联网普及的视角[J].华中农业大学学报,2022,41(3):69-78.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.03.008

主持人语:养殖业是关系国计民生的重要产业。进入新时代,中国养殖业综合生产能力不断提升,主要养殖产品产量持续稳居全球第一,成为世界上最大的养殖业生产国。养殖业的快速发展不仅丰盈了老百姓的“菜篮子”,也鼓起了农民的“钱袋子”,为保障食物安全和推动农业农村经济发展作出了重大贡献。然而,当今世界正经历百年未有之大变局,在新一轮科技革命和产业变革深入发展的同时,气候变化、地缘冲突、突发公共卫生事件等也对养殖业高质量发展构成了严峻挑战,且主要表现在资源环境约束更加趋紧、稳产保供任务更加艰巨、发展不平衡问题更加突出等方面。因此,有必要准确理解和把握养殖业高质量发展的概念内涵和现实条件,并在此基础上深入探索养殖业高质量发展的关键路径,推动养殖业加快形成产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的高质量发展新格局。本期专栏以“养殖业高质量发展”为主题,所发表的6篇论文从不同角度分析了中国养殖业高质量发展的现状、问题和对策,以期引发社会各界对养殖业提质增效问题更为广泛的讨论和关注。

规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的决定因素: 基于互联网普及的视角

何可^{1,2},朱润^{1,3},罗斯炫^{1,3}

1. 华中农业大学农业绿色低碳发展实验室,武汉 430070;
2. 中国人民大学中国乡村振兴研究院,北京 100872;
3. 华中农业大学湖北农村发展研究中心,武汉 430070

摘要 为推进智慧农业技术普及,本研究使用湖北省规模养猪户的调研数据,应用倾向得分匹配法(PSM)分析互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响效应,并在此基础上应用Probit模型进行异质性和影响路径分析。研究发现:(1)互联网使用会显著提高规模养猪户对智慧生产技术、智慧管理技术、智慧服务技术和安全追溯技术的采纳意愿,且效应大小排序依次为智慧生产技术>智慧管理技术>安全追溯技术>智慧服务技术。(2)互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响具有异质性:从年龄来看,新一代规模养猪户倾向于采纳智慧生产技术,老一代规模养猪户倾向于采纳余下3种技术;从学历来看,较之于高学历规模养猪户,互联网使用对低学历规模养猪户4种技术采纳意愿的影响均更大;从经营规模来看,小规模养猪户倾向于采纳安全追溯技术,大规模养猪户倾向于采纳余下3种技术。(3)使用互联网能够通过提高规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知间接正向影响其采纳意愿。

关键词 智慧农业;养猪户;互联网;倾向得分匹配法;智慧农业技术

中图分类号 F323.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)03-0069-10

智慧农业不仅是破解新时期农业发展困局、推动农业高质量发展的有效路径之一,更是未来农业发展的重要方向^[1-2]。相较于传统农业,智慧农业具有管理决策科学化、装备控制智能化和要素投入精

准化等特征,能够在应对劳动力结构性挑战、提高农业生产效率等方面发挥重要作用^[3-4]。智慧农业技术即是将现代信息技术成果运用到传统农业中的技术,按照应用领域的不同,大致可将之划分为智

收稿日期:2022-01-23

基金项目:国家社会科学基金项目(21BGL157)

何可,E-mail:hekework@gmail.com

通信作者:朱润,E-mail:zhurun926@126.com

慧生产技术(例如,实时监控)、智慧管理技术(例如,农村电商)、智慧服务技术(例如,通过APP请求专家帮助)和安全追溯技术(例如,给猪肉贴二维码)。

学界有关智慧农业的研究主要集中于技术创新^[5-6]、运营模式^[7]、对策建议^[8]等方面,从技术推广视角对智慧农业技术普及进行研究的文献较为罕见。作为一类新兴农业技术,智慧农业技术对使用者的人力资本和物质资本较之于传统农业技术提出了更高要求,这也成为了智慧农业技术推广所面临的阻碍和挑战^[9]。由此,倘若能够通过改变外部条件约束来缓解人力资本对农户的影响,智慧农业技术的推广难度则很可能大为下降,而在信息化时代,互联网使用正是重要的外部条件之一。伴随互联网信息技术的快速发展和数字乡村战略的持续推进,农村地区的互联网普及率日益提高,越来越多的学者指出互联网使用能够显著提高农户对新兴农业技术的采纳意愿^[10-13]。一方面,互联网是一种信息传播载体,能够降低信息搜寻费用、减少信息不对称和降低技术使用成本;另一方面,互联网亦是一个方便人与人之间沟通交流的平台,不仅能够提高信息传播效率,还可以显著促进农户与农户之间、农户与技术推广员之间的交流沟通,方便获取智慧农业技术的智力支持。以上两方面均有助于提高潜在使用者对于智慧农业技术的认知和价值感知,进而提高他们的采纳意愿。

鉴于此,本研究使用畜禽养殖大省湖北省的规模养猪户实地调研数据^①,通过运用倾向得分匹配法(propensity score matching,简称PSM)来缓解规模养猪户的自选择行为所致的内生性问题,分析互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响,旨在为信息化时代下智慧农业技术的推广提供对策建议。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究实证分析所用的数据来源于笔者课题组2018年7月至8月在湖北省武汉市、宜昌市、黄冈市、十堰市、荆门市、咸宁市、襄阳市和恩施州等地的人

户调查。根据调研同期出版的《湖北省统计年鉴》数据显示,湖北省生猪存栏2 578.53万头,位居全国前列,而上述地区生猪存栏量占到全省总量的近70%。调研获得调查问卷727份,在剔除信息缺失或前后回答不一致的问卷后,得到适用于本研究的有效问卷共722份。

由表1可知,大部分受访者为男性(90.86%),年龄集中于41~50岁(46.68%),普遍受教育年限为7~9 a(42.52%),生猪养殖经验超过10年的人数较少(20.08%);多数受访规模养猪户家庭的家庭规模在4~6人(74.93%),家庭劳动力数量集中于3~4人(55.96%),大部分家庭有劳动力外出务工(54.99%),有56.65%的受访养殖户是科技示范户,生猪养殖规模多为200头及以下(54.71%)。

1.2 变量选取及描述性统计

1)结果变量。本研究分别选取规模养猪户对智慧生产技术、智慧管理技术、智慧服务技术、安全追溯技术等4类智慧农业技术的采纳意愿作为结果变量(表2)。若受访规模养猪户表示愿意采纳某项智慧农业技术,则该变量赋值为1,否则为0。由调查数据可知,规模养猪户对于智慧服务技术的采纳意愿最高(626户),其次为智慧生产技术(614户)和安全追溯技术(602户),最低的是智慧管理技术(596户)。

2)处理变量。本研究最关注的是互联网使用是否能提高规模养猪户对智慧农业技术采纳意愿,因此,本研究借鉴姜维军等^[10]的做法,选取受访规模养猪户是否使用互联网作为处理变量。调查数据显示,共有555户受访规模养猪户使用互联网,占总样本的76.87%,高于第47次《中国互联网络发展状况统计报告》报告的农村互联网普及率(55.90%),这也从侧面印证了相较于普通农户,规模养猪户群体在人力资本和物质资本上更具有优势,学习和掌握新兴事物的能力更强,更适合作为现阶段智慧农业技术的推广对象。

3)匹配变量。参考以往研究^[13-15],本研究选取的匹配变量主要包括受访者个人特征(性别、年龄等)、家庭特征(家庭规模、家庭劳动力数量等)以及受访养殖户的养殖特征(养殖规模),具体变量定义及描述性统计见表2。

① 选择规模养猪户作为研究对象的原因在于,相较于普通农户而言,规模养猪户群体拥有更丰富的人力资本、物质资本和社会资本,有能力和实力尝试新兴农业生产技术,因此他们更适合作为现阶段中国智慧农业技术的推广对象。

表1 受访者的个体特征、家庭特征和规模养猪户的生猪养殖特征
Table 1 Individual characteristics, family characteristics and pig breeding characteristics of large-scale pig farmers of the respondents

| 变量名称 Variable name | 类别 Type | 样本量 Sample size | 比例/% Proportion | 变量名称 Variable name | 类别 Type | 样本量 Sample size | 比例/% Proportion |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| 性别 Gender | 男 Male | 656 | 90.86 | 家庭规模 Family size | 3人及以下 3 persons and below | 17 | 2.35 |
| | 女 Female | 66 | 9.14 | | 4~6人 4-6 persons | 541 | 74.93 |
| 年龄 Age | 30岁及以下 30 years old and below | 33 | 4.57 | 家庭劳动力数量 Number of household labor force | 7人及以上 7 persons and above | 164 | 22.72 |
| | 31~40岁 31-40 years old | 110 | 15.24 | | 1~2人 1-2 persons | 259 | 35.87 |
| | 41~50岁 41-50 years old | 337 | 46.68 | 3~4人 3-4 persons | 404 | 55.96 | |
| | 51~60岁 51-60 years old | 217 | 30.06 | 5人及以上 5 persons and above | 59 | 8.17 | |
| | 61岁及以上 61 years old and above | 25 | 3.45 | 家庭外出务工人员 Number of family migrant workers | 0人 None | 325 | 45.01 |
| | 6年及以下 6 years and below | 169 | 23.41 | | 1人 1 person | 362 | 50.14 |
| 受教育年限 Years of education | 7~9年 7-9 years | 307 | 42.52 | 2人及以上 2 persons and above | 35 | 4.85 | |
| | 10~12年 10-12 years | 200 | 27.70 | 科技示范户 Sci-tech model agricultural household | 是 Yes | 409 | 56.65 |
| | 13年及以上 13 years and above | 46 | 6.37 | | 否 No | 313 | 43.35 |
| 生猪养殖经验 Pig breeding experience | 10年及以下 10 years and below | 577 | 79.92 | 生猪养殖规模 Pig breeding scale | 200头及以下 200 pigs and below | 395 | 54.71 |
| | 11~20年 11-20 years | 125 | 17.31 | | 201~500头 201-500 pigs | 226 | 31.30 |
| | 21年及以上 21 years and above | 20 | 2.77 | | 501头及以上 501 pigs and above | 101 | 13.99 |

表2 变量定义及描述性统计
Table 2 Variable definition and descriptive statistics

| 变量名称 Variable name | 变量定义 Variable definition | 平均值 Mean | 标准差 SD |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
| 智慧生产技术 Intelligent production technology | 受访规模养猪户是否愿意采纳智慧生产技术(例如实时监控)? 愿意=1, 不愿意=0 Are the interviewed large-scale pig farmers willing to adopt intelligent production technology (For example, real-time monitoring)? Willing = 1, unwilling = 0 | 0.83 | 0.380 |
| 智慧管理技术 Intelligent management technology | 受访规模养猪户是否愿意采纳智慧管理技术(例如农村电商)? 愿意=1, 不愿意=0 Are the interviewed pig farmers willing to adopt intelligent management technology (For example, rural e-commerce)? Willing = 1, unwilling = 0 | 0.87 | 0.340 |
| 智慧服务技术 Intelligent service technology | 受访规模养猪户是否愿意采纳智慧服务技术(例如通过APP请求专家帮助)? 愿意=1, 不愿意=0 Are the interviewed large-scale pig farmers willing to adopt intelligent service technology (For example, request expert help through app)? Willing = 1, unwilling = 0 | 0.85 | 0.357 |
| 安全追溯技术 Safety traceability technology | 受访规模养猪户是否愿意采纳安全追溯技术(例如给猪肉贴二维码)? 愿意=1, 不愿意=0 Are the interviewed large-scale pig farmers willing to adopt safety traceability technology (For example, paste QR codes on pork)? Willing = 1, unwilling = 0 | 0.83 | 0.373 |

续表 2 Continued Table 2

| 变量名称 Variable name | | 变量定义 Variable definition | 平均值 Mean | 标准差 SD | |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|
| 处理变量 Treatment variable | 互联网使用 Internet use | 受访规模养猪户是否使用互联网? 是=1, 否=0 Do the interviewed large-scale pig farmers use the Internet? Yes = 1, no = 0 | 0.77 | 0.422 | |
| | 性别 Gender | 受访者性别: 男性=1, 女性=0 Interviewee gender: male = 1, female = 0 | 0.91 | 0.288 | |
| | 年龄 Age | 2018年受访者实际年龄/岁: 30岁及以下=1, 31~40=2, 41~50=3, 51~60=4, 61岁及以上=5 Actual age of interviewee in 2018 (years): 30 years old and below = 1, 31-40 = 2, 41-50 = 3, 51-60 = 4, 61 years old and above = 5 | 3.13 | 0.871 | |
| | 受教育年限 Year of education | 受访者受教育年限/年 Years of education of interviewee (years) | 8.85 | 3.099 | |
| | 生猪养殖经验 Pig breeding experience | 受访者进入生猪养殖行业至2018年的年限/年: 10年及以下=1, 11~20=2, 21年及以上=3 Years (years) of interviewee entering the pig breeding industry to 2018: 10 years and below = 1, 11-20 = 2, 21 years and above = 3 | 1.23 | 0.482 | |
| | 匹配变量 Covariate | 家庭规模 Family size | 2018年受访规模养猪户的家庭总人口数/人 Total household population of large-scale pig farmers interviewed in 2018 (person) | 4.83 | 1.597 |
| 家庭劳动力数量 Number of household labor force | | 2018年受访规模养猪户的家庭劳动力总量/人 Total household labor force of interviewed large-scale pig farmers in 2018 (person) | 3.09 | 1.376 | |
| 家庭外出劳动力数量 Number of family migrant workers | | 2018年受访规模养猪户的家庭外出务工人员/人 Number of migrant workers from households of large-scale pig farmers interviewed in 2018 (person) | 0.90 | 0.981 | |
| 科技示范户 Sci-tech model agricultural household | | 受访规模养猪户是否是科技示范户? 是=1, 否=0 Are the interviewed large-scale pig farmers technology demonstration households? Yes = 1, no = 0 | 0.43 | 0.496 | |
| 生猪养殖规模 Pig breeding scale | | 2017年受访规模养猪户的生猪出栏量, 取对数 The number of pigs sold by the interviewed large-scale pig farmers in 2017, taken as logarithm | 5.42 | 0.994 | |
| 影响路径 变量 Mechanism variable | | 技术认知 Technical cognition | 受访规模养猪户对智慧农业的了解程度如何? 很不了解=1, 较不了解=2, 一般=3, 较了解=4, 很了解=5 How well do the interviewed pig farmers know about intelligent agriculture? Very little understanding = 1, less understanding = 2, general = 3, more understanding = 4, very understanding = 5 | 2.58 | 1.004 |
| | | 价值感知 Value perception | 受访规模养猪户认为智慧农业的价值大小如何? 价值很小=1, 价值较小=2, 一般=3, 价值较大=4, 价值很大=5 What do the interviewed pig farmers think of the value of intelligent agriculture? Small value = 1, small value = 2, general = 3, large value = 4, large value = 5 | 3.21 | 0.937 |

由表3可知,相较于未使用互联网的规模养猪户而言,使用互联网的规模养猪户对于智慧生产技术、智慧管理技术、智慧服务技术和安全追溯技术等智慧农业技术的采纳意愿更高。其他方面,使用互联网的受访者受教育年限平均为9.11 a,比未使用互联网的受访者平均受教育年限高1.16 a,但未使用互联网的受访者平均生猪养殖经验要高于使用互联网的受访者;使用互联网的规模养猪户是科技示范户的比例和生猪养殖规模均高于未使用互联网的规模养猪户。

1.3 研究方法

本研究的核心问题是:互联网使用能否提高规模养猪户对智慧农业技术的采纳意愿。为此,构建规模养猪户智慧农业技术采纳意愿模型,具体表达

式为:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \gamma \text{Control}_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

式(1)中, Y_i 表示规模养猪户智慧农业技术的采纳意愿; X_i 表示规模养猪户是否使用互联网; Control_i 表示控制变量; ε_i 为随机扰动项。若规模养猪户是否使用互联网是随机的,则式(1)中 β 为净效应,但规模养猪户是否选择使用互联网显然是一个“自选择”的过程,即这一行为并不是随机的,可能会产生内生性问题,从而导致估计结果有偏。因此,本研究使用倾向得分匹配法(PSM),通过对规模养猪户进行分组匹配,估计互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响的“平均处理效应”。值得一提的是,PSM方法不但能缓解“自选择”导致的内生性问题,还能缓解多元线性回归函数形式设定错误所导致估

表3 样本分组描述性统计

Table 3 Sample grouping descriptive statistics

| 变量名称 Variable name | 未使用互联网 Not using the Internet | 使用互联网 Using the Internet | 均值 t-检验 t-test for mean difference |
|------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| 智慧生产技术 Intelligent production technology | 0.70 | 0.86 | -0.16*** |
| 智慧管理技术 Intelligent management technology | 0.79 | 0.88 | -0.09*** |
| 智慧服务技术 Intelligent service technology | 0.73 | 0.88 | -0.15*** |
| 安全追溯技术 Safety traceability technology | 0.73 | 0.86 | -0.13*** |
| 性别 Gender | 0.91 | 0.90 | 0.01 |
| 年龄 Age | 3.15 | 3.11 | 0.04 |
| 受教育年限 Year of education | 7.95 | 9.11 | -1.16*** |
| 生猪养殖经验 Pig breeding experience | 1.31 | 1.20 | 0.12*** |
| 家庭规模 Family size | 4.76 | 4.84 | -0.09 |
| 家庭劳动力数量 Number of household labor force | 3.06 | 3.10 | -0.05 |
| 家庭外出劳动力数量 Number of family migrant workers | 0.95 | 0.88 | 0.06 |
| 科技示范户 Sci-tech model agricultural household | 0.31 | 0.47 | -0.16*** |
| 生猪养殖规模 Pig breeding scale | 5.26 | 5.47 | -0.21** |

注:***、**和*分别代表在1%、5%和10%的统计水平上显著。下表同。Note:***, ** and * denote significance at 1%, 5% and 10% level, respectively. The same as below.

计结果有偏问题。

按照PSM方法的基本思想,本研究通过对使用互联网的规模养猪户和未使用互联网的规模养猪户进行匹配,使得使用和未使用互联网的规模养猪户趋于平衡可比状态,进而比较其智慧农业技术采纳意愿。具体而言,规模养猪户使用互联网的倾向匹配得分为既定条件下规模养猪户使用互联网的概率,通常用Logit模型或Probit模型来估计倾向匹配得分。以Logit模型为例,表达式为:

$$P(Z_i) = P(X_i = 1|Z_i) = E(X_i|Z_i) \quad (2)$$

式(2)中, X_i 代表指标函数, $X_i \in \{0, 1\}$ 表示是否处于处理组,匹配向量 Z_i 中包括的变量设定包括规模养猪户个体及家庭特征、养殖特征等变量。首先,在选择好配对变量之后,进行倾向得分估算,并得出倾向得分值。然后根据算得的倾向

得分值,为每户使用互联网的规模养猪户寻找最接近的“反事实”规模养猪户(未使用互联网)进行匹配。最后,可以根据已匹配样本计算处理组的平均处理效应(ATT),ATT表示使用互联网的规模养猪户的智慧农业技术采纳意愿与假设他们不使用互联网时智慧农业技术采纳意愿的差异。ATT具体的计算公式如下:

$$ATT = E[(Y_i^1 - Y_i^0)|Z_i, X_i = 1] = E(Y_i^1|X_i = 1) - E(Y_i^0|X_i = 1) \quad (3)$$

式(3)中, $E(Y_i^1|X_i = 1)$ 表示使用互联网的规模养猪户智慧农业技术采纳意愿, $E(Y_i^0|X_i = 1)$ 表示使用互联网的规模养猪户假设未使用互联网所对应的智慧农业技术采纳意愿。

2 结果与分析

2.1 规模养猪户的互联网使用决策模型估计

为了匹配使用互联网的规模养猪户与未使用互联网的规模养猪户,本研究采用Logit模型估计规模养猪户使用互联网的概率(表4)。表4显示,受教育年限和科技示范户正向影响规模养猪户使用互联网的概率,且在1%的统计水平上显著;养殖经验负向影响规模养猪户使用互联网的概率,同样在1%的统计水平上显著。考虑到有些控制变量可能内生,因此不再对控制变量的回归结果进行过多解读。

2.2 共同支撑域与平衡性检验

基于规模养猪户互联网使用决策模型的估计结果可以计算出规模养猪户的倾向得分,为了保证匹配的质量,需要考虑匹配的共同支撑域的条件,假如共同支撑域太窄,会导致在共同支撑域外的样本得不到有效的匹配。检验结果显示,使用互联网的规模养猪户与未使用互联网的规模养猪户的倾向得分区间分别为[0.36, 0.96]和[0.39, 0.94],共同支撑域为[0.39, 0.94]。为了更加直观地观察共同支撑域,图1展示了匹配前后使用互联网的规模养猪户(处理组)与未使用互联网的规模养猪户(控制组)倾向得分的概率密度图。不难发现,在匹配后,2组样本倾向得分的核密度函数变的更为接近,说明匹配结果较好。

由于不同匹配方法可能会产生不同的样本损失量,为了保证结果的稳健性,本研究分别采用最近邻匹配(1对1匹配)、最近邻匹配(1对3匹配)、最近邻匹配(1对5匹配)、半径匹配(卡尺范围为0.01)和核

表4 规模养猪户互联网使用决策模型的估计结果($n=722$)

| 变量名称 Variable name | 系数 Coefficient | 标准误 Standard error | Z统计量 Z statistics |
|---------------------------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| 性别 Gender | -0.247 | 0.332 | -0.74 |
| 年龄 Age | 0.167 | 0.118 | 1.42 |
| 受教育年限 Year of education | 0.122*** | 0.031 | 3.89 |
| 生猪养殖经验 Pig breeding experience | -0.553*** | 0.183 | -3.02 |
| 家庭规模 Family size | 0.023 | 0.078 | 0.29 |
| 家庭劳动力数 Number of household labor force | -0.017 | 0.102 | -0.16 |
| 家庭外出劳动力数量 Number of family migrant workers | 0.010 | 0.107 | 0.10 |
| 科技示范户 Sci-tech model agricultural household | 0.635*** | 0.204 | 3.11 |
| 生猪养殖规模 Pig breeding scale | 0.172 | 0.109 | 1.57 |
| 是否鄂东 Whether Eastern Hubei | -0.333 | 0.232 | -1.44 |
| 是否鄂中 Whether Central Hubei | -0.099 | 0.243 | -0.41 |
| 常数项 Constant | -0.570 | 0.779 | -0.73 |
| Pseudo R^2 | 0.054 | | |

表5 匹配前后解释变量的平衡性检验结果

Table 5 Balance test results of explanatory variables before and after matching

| 匹配方法 Matching method | Pseudo R^2 | LR值 LR χ^2 | P 值 $P > \chi^2$ | 均值偏差 Mean bias | 中位数偏差 Median bias |
|-------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
| 匹配前 Unmatched | 0.054 | 42.29 | 0.000 | 12.70 | 5.80 |
| 最近邻匹配(1对1匹配) Nearest neighbor matching($n=1$) | 0.004 | 6.47 | 0.840 | 3.40 | 4.40 |
| 最近邻匹配(1对3匹配) Nearest neighbor matching($n=3$) | 0.004 | 6.66 | 0.826 | 3.70 | 4.20 |
| 最近邻匹配(1对5匹配) Nearest neighbor matching($n=5$) | 0.004 | 5.38 | 0.911 | 3.70 | 3.60 |
| 半径匹配 Radius matching | 0.003 | 4.39 | 0.957 | 3.00 | 2.40 |
| 核匹配 Kernel matching | 0.004 | 5.38 | 0.912 | 3.30 | 3.10 |

2.3 互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响的效应分析

为了检验估计结果的稳健性,本研究采用5种匹配方法来估计平均干预效应 ATT,结果如表6所示。不难发现,5种匹配方法的估计结果均有一致性,ATT均至少在10%的统计水平上显著。从平均值来看,互联网使用对规模养猪户智慧生产技术、智慧管理技术、智慧服务技术和安全追溯技术等智慧农业技术采纳意愿的 ATT 分别是 0.190、0.177、

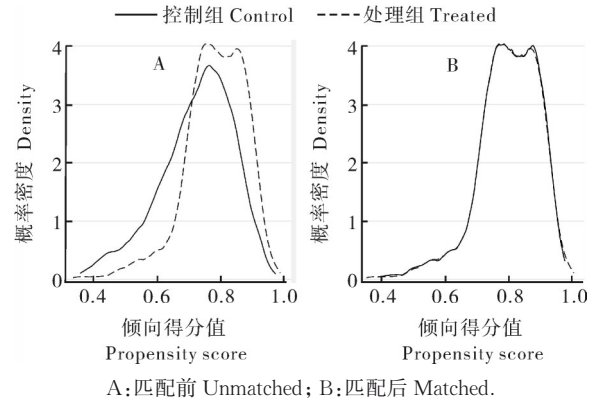


图1 匹配前后使用互联网与未使用互联网的规模养猪户倾向得分的概率密度图

Fig.1 Probability density diagram of propensity scores of large-scale pig farmers using Internet and not using Internet before and after matching

匹配(默认核的函数与带宽)进行匹配(表5)。表5结果显示,除半径匹配的样本损失量为27个(4个来自对照组,23个来自处理组)外,其他匹配方法的样本损失量都为13个(均来自于处理组),可以认为样本得到了较好的匹配。表5中,Pseudo R^2 由匹配前的0.054下降到0.003~0.004,LR统计量由42.29下降到5.38~6.66,均值偏差由12.70下降到3.00~3.70,中位数偏差由5.80下降到2.40~4.40。以上结果说明,匹配后样本总偏误得到了一定程度的降低,通过了平衡性检验。

0.074和0.101。以上结果说明,互联网使用会显著提高规模养猪户对不同类型智慧农业技术的采纳意愿。

2.4 异质性分析

为进一步分析互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响的异质性,本研究根据受访者年龄、受教育年限、生猪养殖规模等特征进行分组,并在删除所有未处于共同支撑域的样本后,将规模养猪户是否使用互联网和智慧农业技术采纳意愿分别作为核心解释变量和被解释变量,使用Probit模型

表6 互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响总体效应的估计结果

Table 6 Estimation results of the overall effect of using the Internet on the willingness of large-scale pig farmers to adopt intelligent agricultural technology

| 匹配方法 Matching method | 智慧生产技术 Intelligent production technology | 智慧管理技术 Intelligent management technology | 智慧服务技术 Intelligent service technology | 安全追溯技术 Safety traceability technology |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 最近邻匹配(1对1匹配) Nearest neighbor matching($n=1$) | 0.234*** (0.052) | 0.194*** (0.054) | 0.081* (0.047) | 0.103** (0.052) |
| 最近邻匹配(1对3匹配) Nearest neighbor matching($n=3$) | 0.198*** (0.045) | 0.190*** (0.047) | 0.074* (0.042) | 0.096** (0.046) |
| 最近邻匹配(1对5匹配) Nearest neighbor matching($n=5$) | 0.168*** (0.044) | 0.157*** (0.046) | 0.073* (0.041) | 0.107*** (0.045) |
| 半径匹配 Radius matching | 0.193*** (0.043) | 0.183*** (0.045) | 0.078* (0.040) | 0.100** (0.044) |
| 核匹配 Kernel matching | 0.157*** (0.041) | 0.162*** (0.043) | 0.065* (0.038) | 0.097*** (0.042) |
| 平均值 Average | 0.190 | 0.177 | 0.074 | 0.101 |

注：括号内为标准误。Note: The parentheses are standard error.

基于式(1)进行回归,结果如表7所示。

由表7可知,全样本的回归结果显示,互联网使用对4类智慧农业技术采纳意愿的回归结果均在1%的统计水平上显著,且系数为正,即互联网使用能显著提高规模养猪户智慧农业技术的采纳意愿,验证了前文结论的稳健性。按年龄分组的回归结果显示,在老一代组中,互联网使用对4类智慧农业技术采纳意愿的回归系数均显著且为正,说明互联网使用能显著提高老一代规模养猪户对于4类智慧农业技术的采纳意愿。但在新一代组中,互联网使用仅对智慧生产技术的回归系数显著且为正,说明互联网使用并不能提高新一代规模养猪户对于智慧管理技术、智慧服务技术和安全追溯技术的采纳意愿。可能的原因是,一方面,相较于老一代组,新一代组的规模养猪户使用互联网可能会更多的用于娱乐方面。另一方面,新一代组的规模养猪户更开放,可能有更多途径接触到智慧农业技术,互联网并不是唯一的渠道;按受教育年限分组的回归结果显示,在低学历组中,互联网使用对4类智慧农业技术采纳意愿的回归系数均显著为正。在高学历组中,互联网使用仅对智慧服务技术的回归系数不显著,对另外3类智慧农业技术采纳意愿的回归系数均显著为正。对此可能的解释是,高学历组规模养猪户的学习能力、认知能力以及解决问题的能力相对较强,导致对于智慧服务技术的需求意愿普遍不强;按养殖规模分组的回归结果显示,在大养殖规模组中,互联网使用对4类智慧农业技术采纳意愿的回归系数均显著为正。小养殖规模组与低学历组一样,互联网使用对智慧生产技术、智慧管理技术和安全追溯技术的回归系数显著。造成如此差异的可能解释是,小规模养殖户的生猪养殖规模较小,遇到自身难以解决问题的情况也相对较少,加之成本考虑,使得他们对智

慧服务技术的需求普遍较弱。

2.5 互联网使用提高规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响路径

前文研究表明,互联网使用会显著提高规模养猪户对智慧农业技术的采纳意愿,但互联网使用提高规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响路径尚不清楚。本部分将从规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知两个方面出发,运用逐步回归法检验互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响路径。闫贝贝等^[11]的研究指出,互联网使用设备能显著提高农户对于农业技术的认知水平,进而促进他们对技术的采纳;姜维军等^[10]的研究发现,除直接影响外,互联网使用还可以通过提高农户对农业技术的价值感知间接影响他们的农业技术采纳行为。借鉴以上学者的研究结论,本研究预期互联网使用能显著提高规模养猪户对于4类智慧农业技术的技术认知和价值感知,进而影响他们对智慧农业技术的采纳意愿,检验结果如表8所示。

表8中(1)~(9)列是以技术认知为影响路径的检验结果,(10)~(18)列是以价值感知为影响路径的检验结果。不难发现,(1)和(10)列的结果显示,是否使用互联网对技术认知和价值感知的回归系数为正,且在1%的统计水平上显著,即互联网使用会显著提高规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知;(2)~(5)列和(11)~(14)列的结果显示技术认知和价值感知对4类智慧农业技术采纳意愿的回归系数均为正,且十分显著,说明规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知能提高他们采纳智慧农业技术的意愿;(6)~(9)列和(15)~(18)列的结果显示,技术认知和价值感知是互联网使用提高规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响路径。以上

表7 互联网使用对不同组别规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响的回归结果

Table 7 Regression results of the impact of using the Internet on the willingness of large-scale pig farmers in different groups to adopt intelligent agricultural technology

| 组别 Group | 智慧生产技术 Intelligent production technology | 智慧管理技术 Intelligent management technology | 智慧服务技术 Intelligent service technology | 安全追溯技术 Safety traceability technology | 样本量 Sample size |
|-----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| 全样本 Full sample | 0.560*** (0.135) | 0.554*** (0.130) | 0.347*** (0.138) | 0.477*** (0.132) | 709 |
| 新一代组 New generation group | 0.666*** (0.235) | 0.249 (0.242) | 0.048 (0.279) | 0.178 (0.234) | 270 |
| 老一代组 Older generation group | 0.557*** (0.163) | 0.763*** (0.164) | 0.496*** (0.168) | 0.627*** (0.167) | 439 |
| 高学历组 Higher education group | 0.511*** (0.191) | 0.425** (0.183) | 0.245 (0.208) | 0.358* (0.192) | 434 |
| 低学历组 Low education group | 0.591*** (0.206) | 0.724*** (0.200) | 0.425** (0.198) | 0.580*** (0.194) | 275 |
| 大养殖规模组 Large scale group | 0.602*** (0.175) | 0.604*** (0.167) | 0.345** (0.172) | 0.464*** (0.169) | 425 |
| 小养殖规模组 Small scale group | 0.473** (0.219) | 0.377* (0.210) | 0.371 (0.237) | 0.501** (0.218) | 284 |

注:所有回归均放入了控制变量(与匹配变量相同),汇报的系数值为互联网使用对不同智慧农业技术采纳意愿的回归系数,括号内为稳健标准误。下表同。Note: All regressions are put into the control variable (the same as the matching variable). The reported coefficient value is the regression coefficient of whether to use the Internet to adopt different types of intelligent agricultural technologies. The parentheses are robust standard error. The same as below.

表8 互联网使用对规模养猪户智慧农业技术采纳意愿影响路径的回归结果

Table 8 Regression results of the impact mechanism of using the Internet on large-scale pig farmers' willingness to adopt smart agricultural technology

| 变量名称 Variable name | 技术认知 Technical cognition (1) | 智慧生产技术 Smart production technology (2) | 智慧管理技术 Smart management technology (3) | 智慧服务技术 Smart service technology (4) | 安全追溯技术 Safety traceability technology (5) | 智慧生产技术 Smart production technology (6) | 智慧管理技术 Smart management technology (7) | 智慧服务技术 Smart service tech- nology (8) | 安全追溯技术 Safety traceability technology (9) |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 互联网使用 Use the Internet | 0.423*** (0.104) | | | | | 0.402*** (0.143) | 0.416*** (0.134) | 0.247* (0.142) | 0.329** (0.145) |
| 技术认知 Technical cognition | | 0.573*** (0.075) | 0.485*** (0.069) | 0.329*** (0.068) | 0.621*** (0.075) | 0.546*** (0.076) | 0.457*** (0.068) | 0.312*** (0.068) | 0.602*** (0.076) |
| 变量名称 Variable name | 价值感知 Value perception (10) | 智慧生产技术 Smart production technology (11) | 智慧管理技术 Smart man- agement tech- nology (12) | 智慧服务技术 Smart ser- vice technol- ogy (13) | 安全追溯技术 Safety trace- ability tech- nology (14) | 智慧生产技术 Smart production technology (15) | 智慧管理技术 Smart management technology (16) | 智慧服务技术 Smart service technology (17) | 安全追溯技术 Safety traceability technology (18) |
| 互联网使用 Use the Internet | 0.642*** (0.104) | | | | | 0.361*** (0.145) | 0.334** (0.140) | 0.110 (0.149) | 0.312*** (0.144) |
| 价值感知 Value perception | | 0.442*** (0.069) | 0.497*** (0.067) | 0.465*** (0.070) | 0.387*** (0.066) | 0.398** (0.070) | 0.458*** (0.069) | 0.451*** (0.073) | 0.353** (0.069) |

结果表明,互联网使用除了能直接改善规模养猪户对4类智慧农业技术的采纳意愿外,还可以通过提高规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知产生间接的促进作用。

3 结论与政策启示

本研究基于湖北省的微观调研数据,使用倾向

得分匹配法通过构造“反事实”框架,实证检验了互联网使用对规模养猪户智慧管理技术、智慧服务技术、智慧生产技术和安全追溯技术等4类智慧农业技术采纳意愿的影响。本研究获得的主要结论如下:第一,由调研数据发现,湖北省规模养猪户对于4类智慧农业技术具有较高的采纳意愿。同时,调查中共有555户受访规模养猪户使用互联网,占总样本的

76.87%, 普及率高于同期的农村整体互联网普及率; 第二, 通过5种匹配方法得出的倾向得分匹配结果均显示互联网使用会显著提高规模养猪户对4类智慧农业技术的采纳意愿; 第三, 异质性分析结果显示, 除对新一代规模养猪户智慧管理技术、智慧服务技术和安全追溯技术采纳意愿, 以及高学历组和小养殖规模组规模养猪户智慧服务技术采纳意愿的影响不显著外, 互联网使用对其他组别规模养猪户智慧农业技术采纳意愿的影响均显著; 第四, 影响路径分析结果显示, 互联网使用不但能直接提高规模养猪户对4类智慧农业技术的采纳意愿, 还可以通过提高规模养猪户对智慧农业技术的技术认知和价值感知产生间接促进作用。

针对以上研究结论, 本研究获得如下启示: 第一, 积极推进乡村地区的信息基础设施建设, 进一步落实数字乡村发展战略。加强网络基础设施共建共享, 持续深化电信普遍服务, 提升农村光纤和4G、5G网络广度和深度覆盖, 切实提高互联网普及率。同时, 加快云计算、大数据、物联网、人工智能在养殖业生产经营中的融合应用, 推进农业智能化转型。第二, 降低互联网使用门槛, 以信息流带动人才流。一方面, 着重加强互联网使用的技术培训, 例如通过开展田间学校、兴趣班等形式来提高规模养猪户, 尤其是年龄较大或受教育程度较低的群体从互联网获取智慧农业相关信息的能力。另一方面, 鼓励软件开发商在不降低软件应用(APP)功能的基础上, 优化其操作和交互方式, 降低规模养猪户使用APP获取智慧农业相关信息的难度。第三, 丰富互联网宣传内容, 深化信息惠民服务。一方面, 加快互联网信息技术与智慧农业技术在宣传上的融合, 通过视频、图片等规模养猪户群体喜闻乐见的方式进行宣传, 着重强调智慧农业技术的使用操作以及采纳后所产生的综合效益, 提高规模养猪户的技术认知和价值感知; 另一方面, 在通过互联网发布智慧农业技术相关信息时, 需根据不同规模养猪户群体的特征和需求, 尽可能做到精准推送。

参考文献 References

- [1] 赵敏娟. 智慧农业的经济学解释与突破路径[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(24): 70-78. ZHAO M J. Economic explanation and breakthrough path of smart agriculture[J]. Frontiers, 2020(24): 70-78(in Chinese with English abstract).
- [2] 殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 等. 智慧农业发展的底层逻辑、现实约束与突破路径[J]. 改革, 2021(11): 95-103. YIN H D, HUO P, XIAO R M, et al. The underlying logic, practical constraints and breakthrough path of the development of smart agriculture[J]. Reform, 2021(11): 95-103(in Chinese with English abstract).
- [3] 赵春江, 李瑾, 冯献. 面向2035年智慧农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 1-9. ZHAO C J, LI J, FENG X. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China[J]. Strategic study of CAE, 2021, 23(4): 1-9(in Chinese with English abstract).
- [4] LIPPER L, THORNTON P, CAMPBELL B M, et al. Climate-smart agriculture for food security[J]. Nature climate change, 2014, 4(12): 1068-1072.
- [5] JAYARAMAN P P, YAVARI A, GEORGAKOPOULOS D, et al. Internet of things platform for smart farming: experiences and lessons learnt [J/OL]. Sensors, 2016, 16(11): 1884. <https://doi.org/10.3390/s16111884>.
- [6] 刘婉茹, 张国忠, 周勇, 等. 智能化技术在水稻生产全程机械化中的应用研究与发展趋势[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 105-122. LIU W R, ZHANG G Z, ZHOU Y, et al. Application and development of intelligent technology in full mechanization of rice production[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 105-122(in Chinese with English abstract).
- [7] 胡亚兰, 张荣. 我国智慧农业的运营模式、问题与战略对策[J]. 经济体制改革, 2017(4): 70-76. HU Y L, ZHANG R. The operation mode, problems and countermeasures of the wisdom agriculture in China[J]. Reform of economic system, 2017(4): 70-76(in Chinese with English abstract).
- [8] 马红坤, 毛世平, 陈雪. 小农业生产条件下智慧农业发展的路径选择: 基于中日两国的比较分析[J]. 农业经济问题, 2020, 41(12): 87-98. MA H K, MAO S P, CHEN X. Exploring the development path of smart agriculture in China: based on the comparative analysis between China and Japan[J]. Issues in agricultural economy, 2020, 41(12): 87-98(in Chinese with English abstract).
- [9] 宋洪远. 智慧农业发展的状况、面临的问题及对策建议[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(24): 62-69. SONG H Y. The status and problems of smart agriculture development and responses[J]. Frontiers, 2020(24): 62-69(in Chinese with English abstract).
- [10] 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[J]. 农业技术经济, 2021(3): 50-62. JIANG W J, YAN T W, ZHANG J B. Can Internet use promote farmers to adopt straw returning technology?: an empirical analysis based on endogenous switching probit model[J]. Journal of agrotechnical economics, 2021(3): 50-62(in Chinese with English abstract).
- [11] 闫贝贝, 张强强, 刘天军. 手机使用能促进农户采用IPM技术吗?[J]. 农业技术经济, 2020(5): 45-59. YAN B B, ZHANG Q Q, LIU T J. Can mobile phone promote the adoption of IPM technology by farmers? [J]. Journal of agrotechnical economics, 2020(5): 45-59(in Chinese with English abstract).
- [12] ZHENG Y Y, ZHU T H, JIA W. Does Internet use promote the adoption of agricultural technology? evidence from 1 449 farm households in 14 Chinese provinces[J]. Journal of integrative agriculture, 2022, 21(1): 282-292.
- [13] GONG X M, ZHANG J P, ZHANG H R, et al. Internet use en-

- courages pro-environmental behavior: evidence from China [J/OL]. *Journal of cleaner production*, 2020, 256:120725[2022-011-23]. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.20725>.
- [14] 何可,王安邦,张俊飏. 新时代中国农业教育发展的对策[J]. *世界农业*, 2021(8): 87-96. HE K, WANG A B, ZHANG J B. Countermeasures for the development of China's agricultural education in the new era[J]. *World agriculture*, 2021(8): 87-96(in Chinese with English abstract).
- [15] 王安邦,何可,张俊飏. 亲环境动机对规模养猪户农业碳交易参与的影响[J]. *世界农业*, 2021(9): 37-48. WANG A B, HE K, ZHANG J B. Pro-environmental motivation and participation of large-scale pig breeders in agricultural carbon trading [J]. *World agriculture*, 2021(9): 37-48(in Chinese with English abstract).
- [16] 何可. 农业废弃物资源化生态补偿[M]. 北京:人民出版社, 2019. HE K. Ecological compensation for agricultural wastes recycling [M]. Beijing: People's Publishing House, 2019(in Chinese).

Determinants of the willingness of large-scale pig farmers to adopt intelligent agricultural technology: based on the perspective of Internet popularization

HE Ke^{1,2}, ZHU Run^{1,3}, LUO Sixuan^{1,3}

1. *Laboratory of Green and Low-Carbon Development in Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*
 2. *China Academy for Rural Revitalization, Renmin University of China, Beijing 100872, China;* 3. *Hubei Rural Development Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract This article analyzed the effects of Internet usage on the willingness to adopt intelligent agricultural technology among large-scale pig farmers by using the survey data of large-scale pig farmers in Hubei Province and the propensity score matching method in order to promote the popularization of intelligent agricultural technology. On this basis, the Probit model was used to analyze the heterogeneity and influence paths. The results showed that the use of the Internet significantly increased the willingness to adopt intelligent production technologies including intelligent management, intelligent service and safety traceability among large-scale pig farmers. The effect was in the decreasing order of intelligent production technology, intelligent management technology, safety traceability technology and intelligent service technology. The impact of Internet usage on the willingness to adopt intelligent agricultural technology among large-scale pig farmers was heterogeneous. In terms of age, the new generation of large-scale pig farmers tended to use intelligent production technologies, and the older generation of large-scale pig farmers tended to use the other three technologies. In terms of educational background, Internet use had a greater impact on the willingness of low-educated pig farmers to adopt the four technologies compared with high-educated pig farmers. In terms of business scale, small-scale pig farmers tended to use safety traceability technologies, while large-scale pig farmers tended to use the remaining three technologies. The use of the Internet can indirectly and positively affect the adoption willingness of large-scale pig farmers by improving their technical cognition and value perception of intelligent agricultural technology.

Keywords intelligent agriculture; pig farmers; Internet; propensity score matching; intelligent farming technology

(责任编辑:陆文昌)