

# 互联网、人力资本和农业全要素生产率增长

李谷成, 蔡慕宁, 叶 锋

(华中农业大学 经济管理学院/农业经济研究所, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 互联网与农业的深度融合为农业全要素生产率增长带来新的动力引擎, 但人力资本对农村地区互联网普及的制约作用也不容忽视。采用 DEA-Malmquist 指数法测算 2004—2016 年我国农业全要素生产率, 研究互联网对我国农业全要素生产率增长的影响, 检验人力资本对互联网与农业全要素生产率增长关系的调节效应。结果表明: 我国农业全要素生产率增长由技术效率改善和技术进步共同驱动, 其中技术进步是主要驱动力; 互联网对我国农业全要素生产率具有显著提升作用, 主要是通过促进技术进步而实现的; 人力资本会强化互联网对农业全要素生产率的促进作用。

**关键词:** 全要素生产率增长; 互联网; 人力资本; 农业

中图分类号: F124

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2021)04-0016-08

## Internet, human capital and the agricultural TFP growth

LI Gucheng, CAI Muning, YE Feng

(College of Economics & Management / Research Institute for Agricultural Economics,  
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The deep integration of the internet and agriculture has provided new momentum for agricultural TFP growth. Meanwhile, the restriction of human capital on internet popularization in rural areas cannot be ignored. By adopting the DEA-Malmquist index method, China's agricultural TFP growth from 2004 to 2016 has been calculated, the impact of internet on the agricultural TFP growth has been investigated, and the regulatory effect of human capital on the relationship between internet and agricultural TFP growth has been examined. The results show that the agricultural TFP growth is jointly driven by technical efficiency improvement and technological progress, between which technological progress is the key driver; the internet significantly improves the agricultural TFP, mainly through promoting technological progress; human capital could strengthen the role of the internet in boosting the agricultural TFP growth.

**Keywords:** TFP growth; internet; human capital; agriculture

### 一、问题的提出

自我国政府提出“宽带中国”战略和“互联网+”行动计划以来, 互联网深刻改变了农业生产方式, 为农业提质增效带来新的动力引擎。据统计, 截至 2020 年底, 农村地区互联网普及率达到了 55.9%; 数字经济在农业增加值中的比重大幅提升,

预计 2025 年将达到 15% 以上。进入“十四五”阶段, 依靠农业全要素生产率(TFP)驱动农业高质量发展仍是必然要求, 在此背景下, 探讨如何有效利用互联网提升农业 TFP 就显得尤为必要。而根据人力资本理论, 受教育水平在很大程度上会影响人的学习能力和实践活动, 文化程度高的农民更容易掌握与互联网发展相匹配的数字技能, 人力资本成为决定农民互联网运用能力的重要条件。因此, 厘清互联网对我国农业 TFP 增长的影响以及人力资本在其中的作用, 对促进我国农业向高质量发展转型具有重要现实意义。

互联网广泛运用于农业生产中, 许多国家已经实施了各种基于“Internet+”的计划, 以改善农场

收稿日期: 2021-06-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(71873050); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662020JGPY002)

作者简介: 李谷成(1982—), 男, 湖南长沙人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为农业经济学、农业技术经济学。

绩效并促进农村发展<sup>[1-3]</sup>。近年来,互联网在我国农业生产中的使用也引起众多学者关注。Ma 和 Wang 研究发现互联网的使用对可持续农业生产技术的采纳强度具有显著的正向影响<sup>[4]</sup>。Zheng 等运用微观农户数据实证检验发现,互联网的使用对香蕉种植户的技术效率有正向影响<sup>[5]</sup>。但关于互联网与农业 TFP 增长关系的研究还较为缺乏,仅有研究中,关于互联网对农业 TFP 增长作用的研究结论较为一致,学者普遍认为两者呈正向关系<sup>[3,6-8]</sup>,但关于影响路径的研究结论仍存在着一些分歧。部分研究者认为互联网是通过改善农业技术效率来提高农业 TFP<sup>[3,6,7]</sup>,而李欠男和李谷成的研究则显示互联网是通过促进技术进步来促进农业 TFP 增长<sup>[8]</sup>。学者较少关注人力资本对互联网使用可能产生的影响,仅有数篇文献从理论上指出农民劳动力素质对互联网在农业中的应用会有约束作用。Ann 等认为人力资本是信息技术在应用中发挥作用的重要条件<sup>[9]</sup>,王艳华认为受教育不佳的农民在互联网操作技能层面存在挑战进而影响农业生产<sup>[10]</sup>。

综上所述,已有研究仍存在以下几点不足:第一,发现互联网可以通过对技术进步和技术效率的作用来影响农业 TFP 增长,而对互联网如何在其中发挥作用的结论存在着分歧。第二,在研究互联网与农业 TFP 增长的关系时,较少考虑人力资本的作用,尤其是缺乏人力资本、互联网与农业 TFP 增长关系的实证检验。鉴于此,本文试图从以下两方面扩展现有研究:其一,就互联网对农业 TFP 增长的作用机制展开理论分析和实证检验,将农业 TFP 分解为技术效率和技术进步,更细致地考察互联网作用于农业 TFP 的具体维度。其二,将人力资本因素纳入研究框架,深入考察人力资本在互联网对农业 TFP 增长影响中的调节作用。

## 二、理论分析与研究假说

农业 TFP 变化可分为农业技术进步与农业技术效率变化,两者反映了 TFP 增长的不同内涵。互联网创造了新型生产方式和经济模式,从资源配置效率的改善、农业交易链条的缩短、科研成果转化率的提高等方面实现了农业技术进步和效率改善,提升了农业 TFP,其变化分析可从不同维度反映互联网发挥作用的结果。同时,将人力资本的调节作

用纳入分析框架,可反映农民在使用互联网时受到自身能力的约束。

### 1. 互联网对农业技术进步的影响分析

农业技术进步是指生产技术的不断创新,具体表现为机械性技术进步和生物性技术进步。互联网对于农业技术进步的贡献主要包括下述两个方面:第一,互联网技术引导农机装备向智能化发展。以“中国制造 2025”战略为契机,融合互联网技术,以提高农机产品的信息收集、智能决策和精准作业能力为目标,我国推出了大批新型高效农业机械装备<sup>[11]</sup>。此外,互联网技术构建的网络环境,使农业领域的科研活动能够跨越时空的障碍,集中国内分散的研究资源,克服科研条块分割、力量分散的缺点,实现协同创新研究,能加速农业研究进程,加快农业技术进步速度,增强农业技术创新能力<sup>[12]</sup>。第二,互联网平台在技术供给主体与需求主体间搭建联动机制,强化科研与生产的结合,提高科研成果转化率<sup>[13]</sup>。长期以来,科研院所的技术供给与农民需求不匹配、农业技术研发不接地气等问题较为突出,而互联网平台则可以很好地解决这一难题。科研人员在网络平台上与农民进行互动交流,不仅能精准掌握农民技术需求,还有助于科研人员积累相应生产技术经验,使科研从选题立项到推广都紧密贴合市场需求,提高科研成果转化率。

### 2. 互联网对农业技术效率的影响分析

农业技术效率反映不同农业投入物的利用效率,优化资源配置和加快农业技术推广都有助于改善农业技术效率。互联网对于农业技术效率变化的贡献主要包括下述两个方面:第一,互联网技术在农业产业链中的应用能极大地优化资源配置。在生产环节,以互联网信息技术为基础的智能化农业技术,通过在育种、栽培、施肥等环节实行标准化管理,定量“精确”把关,优化要素投入结构,能极大地提高农业技术效率<sup>[14]</sup>。在农产品流通环节,互联网技术将农业供应链中的生产源头、销售平台、用户终端与三方物流系统无缝连接,有效减少了中间环节过多造成的信息延迟和资源浪费问题,缩短农业生产资料交易链条,改善资源配置效率<sup>[15]</sup>。第二,互联网平台的开放性和共享性可以减轻交易“摩擦力”与加快农业技术推广扩散。在农资供应环节,农民在市场购买生产物资的过程中,寻找交

易对象、议价等行为会构成较高的交易费用，不利于农户家庭的资源配置优化<sup>[16]</sup>，而开放的互联网平台则构建了生产要素交易一体化市场，实现全国、全球范围内生产要素信息实时更新，最大限度帮助农民了解产品信息，有效减轻交易中的“摩擦力”，

降低市场上的交易费用，优化资源配置。另一方面，互联网平台上开展的新农业教育和农民职业技能培训，共享了新的知识技能，加快农业技术扩散与推广<sup>[17]</sup>，提高了农业技术效率。

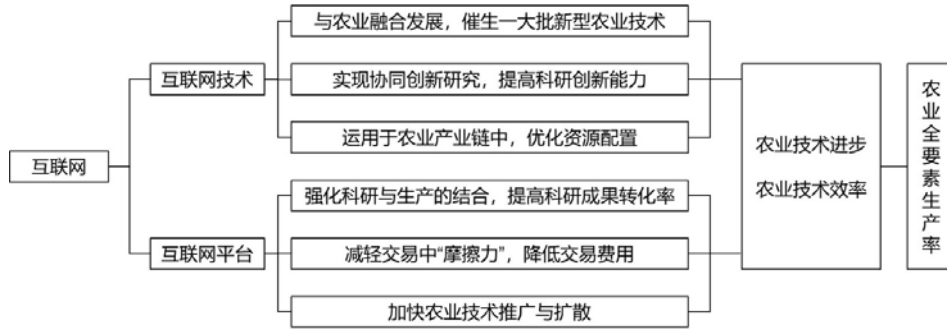


图 1 互联网对农业 TFP 的影响路径

### 3. 人力资本的调节机制

互联网在农业中的应用对生产者的数字技能提出了要求，只有掌握互联网使用技能，实现人与互联网的良好协作，才能推进“互联网+农业”落地。人力资本主要通过以下途径来影响互联网对农业 TFP 增长的作用：

第一，高人力资本是农民掌握互联网操作技术的必要条件。受教育程度高的农民具备良好学习能力和继续学习可能性，能够熟练掌握互联网操作技术，进而强化互联网对农业 TFP 增长的影响。倪浩研究发现农场主受教育程度越高，知识面会更加广泛，接受新技术的速度更快<sup>[18]</sup>。若农民受教育水平较低，会存在观念上的落后与学习能力的欠缺，难以适应大数据等新型互联网技术在农业中的运用。

第二，人力资本会影响人与互联网操作系统的协作程度与效率。目前在大多场景中都是通过人机交互形式，将人与互联网操作系统耦合在一起，协同完成复杂管理任务。受教育水平高的农民具备必要的数据分析与管理等能力，在使用互联网实时了解农场的土壤结构、环境气象等信息后，通过自身分析能力对信息加以利用，利用互联网搭建的管理体系，做出生产决策<sup>[19]</sup>。

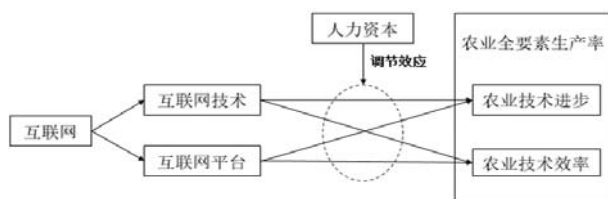


图 2 互联网对农业 TFP 增长的影响路径图

根据以上理论分析，本文提出以下三个假说：  
假说 1：互联网可以通过促进农业技术进步来推动农业 TFP 增长。

假说 2：互联网可以通过促进农业技术效率来推动农业 TFP 增长。

假说 3：人力资本可以调节互联网对农业 TFP 增长的影响。

## 三、研究设计

### 1. 研究方法

在上述理论分析的基础上，本文重点考察互联网对农业 TFP 增长的影响。借鉴郭家堂和骆品亮<sup>[20]</sup>的研究，本文构建的基准回归模型如下：

$$\ln TFP = \beta_0 + \beta_1 internet_{it} + \beta_c \sum CV_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$i$  表示地区， $t$  表示时间， $\varepsilon_{it}$  表示随机误差项。农业 TFP 增长、农业技术效率和农业技术进步分别为本文的被解释变量，需要取自然对数， $internet$  为核心解释变量互联网， $CV$  表示一组控制变量，包括受教育程度、受灾率等会对因变量产生影响的指标， $u_i$  表示非观测的各省份固定效应。

为了探索人力资本在互联网与农业 TFP 关系中的调节作用，借鉴温忠麟等<sup>[21]</sup>的做法，将互联网普及率和受教育年限分别做中心化变换，得到  $c\_internet$  和  $c\_edu$ ，再将人力资本作为调节变量。本文构建调节效应模型如下：

$$\ln TFP = \beta_m + \beta_1 internet + \beta_2 \ln edu + \beta_c \sum CV_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln TFP = \beta_0 + \beta_1 c\_internet + \beta_2 c\_lnedu + \beta_3 c\_internet \times c\_lnedu + \beta_c \sum CV_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

## 2. 变量选择与数据说明

(1) 被解释变量。农业 TFP 增长：参照已有的研究,采用累积 TFP 增长值来衡量,令基期(2004 年)农业 TFP 增长为 1,再将各年之前的 TFP 指数相乘,可得到当年累积形式的 TFP。本文使用基于产出导向可变规模报酬的 DEA-Malmquist 指数法对 TFP 增长和分解进行测算,在产出方面,采用以 2004 年为基期的消除通货膨胀因素以后的农林牧渔业实际总产值表示。在投入方面,本文选取五个变量作为投入指标。劳动力数量选用第一产业从业人员,包括所有从事农业生产的人,比较贴合农业实际生产中劳动力投入数量;机械总动力选用农林牧渔业的机械总动力,不包括用于其他非农生产用途;土地面积选用农作物播种面积,因为我国存在弃耕、休耕等情况,每年都有耕地并没有被充分利用,所以实际播种面积会更贴近农业生产现状;化肥施用量选用实际用于生产的化肥投入量;灌溉面积选用实际有效灌溉面积来衡量,指有水源、灌溉设施配套且每年至少可以浇灌一次的农田面积。以上各指标均来自历年 31 个省份的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》。

(2) 核心解释变量。互联网：借鉴程名望和张家平<sup>[22]</sup>的做法,选取互联网普及率来表示,数据来自 2004—2016 年中国互联网络信息中心(CNNIC)发布的《中国互联网络发展状况统计报告》。受教育水平(edu)：人力资本是体现在人身上的资本,蕴含在劳动者身上的各种知识、智力等,正规教育是其形成的主要途径<sup>[23]</sup>。借鉴已有研究,本文采用平均受教育年限衡量。具体做法是将

平均受教育程度分为文盲及半文盲、小学、初中、高中或中专、大专及以上学历五大类,其受教育年限可划分为 0、6、9、12 和 15.5 年,以此计算各地区农村劳动力平均受教育年限。

(3) 控制变量。受灾率(dis)：气候变化是影响农业生产的重要因素,一些极端天气(如持续干旱、阴雨寡照等)会造成农业生产的波动,不利于农业 TFP 增长,本文采用农作物受灾面积与农作物播种面积之比表示。土地质量(landu)：土壤作为农业生产投入要素,为农作物提供水肥等,对农业 TFP 增长产生直接的影响,本文选取有效灌溉面积与农作物播种面积的比值来衡量土地质量。农业结构调整系数(struc)：种植业结构调整反映了资源配置效率,能影响农业 TFP 增长,本文采用各省份粮食作物播种面积占农作物总播种面积的比重来表示。城镇化水平(urban)：城镇化也会影响农业生产,经济发达地区吸引了大量农村劳动力,影响了农村劳动力素质和土地流转,对农业 TFP 的作用不容忽视,本文采用本省非农业人口占总人口的比重来衡量。财政支持(finan)：财政是公共资源的核心部分,各种支农资金的投入可以有效改善农业生产条件,促进农业综合生产能力的提高,本文采用财政支农支出占总财政支出的比重来衡量。

受教育水平和城镇化水平的统计数据来自《中国人口和就业统计年鉴》,其他指标均来自历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》以及各省市区的统计年鉴或农村统计年鉴,相关变量的描述性特征如表 1 所示。

表 1 各变量的描述性统计分析

变量	变量名称及说明	平均值	标准差	最大值	最小值
TFP	农业全要素生产率指数	1.207	0.209	0.880	2.033
EFF	技术效率指数	1.009	0.123	0.697	1.662
TE	技术进步指数	1.200	0.169	0.924	1.873
internet	互联网普及率	0.341	0.186	0.028	0.778
edu	受教育程度	7.357	0.875	3.239	9.364
disa	受灾率=农作物受灾面积/农作物播种面积	0.224	0.149	0.000	0.936
landu	土地质量=有效灌溉面积/农作物播种面积	0.422	0.177	0.148	1.029
urban	城镇化=各省份非农人口/总人口	0.506	0.153	0.158	0.896
finan	财政支持=各省份财政支农支出/总财政支出	0.097	0.036	0.012	0.190
struc	农业结构调整系数=各省份粮食作物播种面积/总播种面积	0.654	0.129	0.000	0.958

#### 四、实证结果与分析

##### 1. 农业 TFP 增长核算与分析

农业 TFP 增长及其分解项的增长变化情况如表 2 所示。测算结果显示：第一，总体上，我国农业 TFP 呈平稳波动性增长态势，2004—2016 年农业 TFP 年均增长率为 3.1%。第二，农业 TFP 增长由技术进步和技术效率共同驱动。其中，技术进步年均增长 2.5%，技术效率年均增长 0.5%，说明我国农业生产通过科技创新转换推动前沿面“移动”，通过效率的改善来促进生产单位向前“追赶”。从增长源泉来看，我国农业 TFP 增长的主要驱动力是技术进步，这与多数学者研究结论是一致的。第三，进一步分解技术效率可知，规模效率年均增长 0.5%，说明农业 TFP 增长有一部分得益于规模效率的改善，而纯技术效率几乎没有改变。

表 2 2004—2016 年 Malmquist 指数变化及其因素分解

年份	技术效率 变化 TEC	技术进步 TC	纯技术效 率变化 PEC	规模效率 变化 SEC	全要素生 产率变化 TFPC
2004—2005	1.014	1.004	0.997	1.017	1.018
2005—2006	0.992	1.034	0.989	1.002	1.025
2006—2007	0.968	1.047	0.995	0.973	1.013
2007—2008	1.074	0.957	1.021	1.052	1.028
2008—2009	0.966	1.069	0.996	0.970	1.032
2009—2010	0.989	1.036	0.999	0.990	1.025
2010—2011	1.007	1.020	0.991	1.016	1.027
2011—2012	1.000	1.031	0.995	1.005	1.031
2012—2013	0.950	1.096	1.001	0.950	1.042
2013—2014	0.983	1.061	1.005	0.978	1.043
2014—2015	1.071	0.961	1.002	1.069	1.029
2015—2016	1.058	0.997	1.012	1.046	1.055
平均值	1.005	1.025	1.000	1.005	1.031

注：表中指数为历年各省份的几何平均数，所得平均值为各年份的几何平均数。

本文将我国划分为三大地区，进一步探讨三大地区及其内部各省份农业 TFP 增长的地区差异，结果如表 3 所示。可以发现：第一，我国 31 个省份的农业 TFP 均表现为正向增长，东中西三大地区的 TFP 增长率均为正值，但区域间的增速略有不同，呈东、中和西部地区依次下降，分别为 3.4%、3.1%、2.8%，这可能是地区间的资源禀赋、经济条件与科技实力不同造成的。第二，我国大多数省份农业 TFP 增长主要来源于农业技术进步。从整体情况来看，各省份的技术进步增速都为正，除天津、

江苏、山东、吉林、宁夏五个区域之外，其余省份技术进步增速高于效率改善速度，说明大部分省份的农业 TFP 增长主要来源于技术进步，这与我国政府长期重视农业科技创新是分不开的。第三，我国农业技术效率存在明显的东高西低现象。东中西三大地区的技术效率平均增长速度为 0.9%、0.7%、0.1%，有 11 个省份出现一定程度技术效率恶化，其余省份都实现了正向增长。基于此，从所有地区

表 3 各地区农业 TFP 增长变动及其因素分解

	技术效率 变化 TEC	技术进步 TC	纯技术效率 变化 PEC	规模效率 变化 SEC	全要素生产 率变化 TFPC
北京	1.000	1.036	1.000	1.000	1.036
天津	1.032	1.019	1.025	1.007	1.052
河北	1.017	1.018	0.991	1.026	1.036
辽宁	0.999	1.027	1.000	0.999	1.026
上海	0.988	1.001	1.000	0.988	0.989
江苏	1.043	1.017	1.000	1.043	1.061
浙江	1.006	1.025	1.000	1.006	1.031
福建	1.007	1.04	1.000	1.007	1.047
广东	0.989	1.032	1.000	0.989	1.021
海南	1.000	1.031	1.000	1.000	1.031
山东	1.022	1.019	1.000	1.022	1.041
山西	0.991	1.029	0.994	0.997	1.02
吉林	1.029	1.026	1.006	1.022	1.055
黑龙江	1.015	1.017	1.007	1.008	1.032
安徽	1.006	1.023	1.009	0.996	1.029
江西	1.004	1.025	1.002	1.001	1.029
河南	1.012	1.028	1.007	1.004	1.04
湖北	1.002	1.02	0.996	1.006	1.021
湖南	0.996	1.029	1.001	0.995	1.025
内蒙古	1.007	1.016	0.990	1.017	1.023
重庆	0.994	1.034	0.992	1.003	1.029
四川	0.992	1.029	1.000	0.992	1.021
贵州	0.988	1.027	0.99	0.997	1.014
云南	0.992	1.032	0.998	0.994	1.023
西藏	0.986	1.025	1.000	0.986	1.011
广西	0.993	1.035	1.016	0.978	1.028
陕西	1.011	1.035	1.012	1.000	1.046
甘肃	1.005	1.027	1.007	0.999	1.033
青海	1.002	1.025	1.004	0.998	1.027
宁夏	1.022	1.016	0.973	1.051	1.039
新疆	1.016	1.022	0.988	1.029	1.038
东部	1.009	1.024	1.001	1.008	1.034
中部	1.007	1.025	1.003	1.004	1.031
西部	1.001	1.027	0.998	1.004	1.028
平均值	1.005	1.025	1.000	1.005	1.031

注：表中指数为各省份历年的几何平均数。

的整体情况来看,农业 TFP 变化存在空间差异,区域间仍存在着农业发展不平衡的现象。

## 2. 基准回归结果

本文以式(1)为基本实证模型进行回归分析,分别采用 F 检验和 Hausman 检验进行了估计,都在 5%的水平下拒绝了原假设,因此,选用固定效应模型进行参数估计。表 4 给出了互联网影响农业 TFP 增长的线性估计结果。其中,列(1)为对全国整体 TFP 增长影响的检验结果,列(2)—列(4)分别是对东、中、西部农业 TFP 增长影响的检验结果。

表 4 互联网对农业 TFP 增长影响的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	$\ln TFP$	$\ln TFP$ (东)	$\ln TFP$ (中)	$\ln TFP$ (西)
<i>internet</i>	0.593*** (0.046)	0.534*** (0.087)	0.797*** (0.094)	0.620*** (0.063)
<i>lnedu</i>	-0.218* (0.124)	0.006 (0.307)	-0.348 (0.302)	-0.028 (0.134)
<i>disa</i>	-0.046 (0.032)	0.028 (0.063)	-0.090* (0.052)	-0.083* (0.047)
<i>landu</i>	-0.105 (0.081)	-0.115 (0.145)	-0.462** (0.192)	-0.200* (0.106)
<i>urban</i>	0.351*** (0.105)	0.265 (0.181)	-0.011 (0.200)	0.058 (0.145)
<i>finan</i>	-0.074 (0.121)	0.246 (0.290)	-0.228 (0.184)	-0.043 (0.152)
<i>struc</i>	0.120 (0.076)	0.310 (0.192)	1.186*** (0.322)	0.062 (0.074)
常数项	0.211 (0.228)	-0.370 (0.583)	0.003 (0.665)	0.059 (0.223)
观测值	372	132	96	144
$R^2$	0.729	0.679	0.838	0.790

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平,( )内为标准误。

可以看到,在控制人力资本、受灾率等一系列因素下,核心解释变量互联网的估计系数为 0.593,且在 1%水平下显著,表明互联网对农业 TFP 增长有积极的影响作用,与前文的理论预期是相符的。城镇化水平的回归系数显著且为正,这是因为城镇化发展会带动农业剩余劳动力转移,通过提高单位劳动产出和土地产出率进而提升农业 TFP。人力资本对农业 TFP 增长有显著的负向作用,这是因为农村劳动力素质提高后,会转移到非农产业,使得优质农业劳动力流失,引致农业 TFP 降低。列(2)—列(4)结果表明,互联网对东部、中部和西部

农业 TFP 增长的回归系数分别为 0.534、0.797、0.620,且都在 1%水平下通过显著性检验,说明三大地区都能通过互联网来促进农业 TFP 增长,与互联网对我国整体农业 TFP 增长促进作用是一致的,也间接证实了本文结论的可靠性。同时,这种促进作用呈中部、西部、东部依次减弱,即相较于东部地区,中、西部地区将能从互联网发展中获取更多的信息红利,这也预示着如果合理利用互联网,将不仅有利于提升区域农业 TFP,还能有效缩小发达地区和落后地区之间的农业 TFP 差距。对这种现象的一个合理解释是,中部地区多为农业大省,随着发展水平的提升,互联网对农业的渗透作用日益增强,会促进农业生产要素的优化整合,最终提升农业 TFP;互联网在东部地区普及率最高,根据边际效益递减法则,互联网发展到一定程度,虽然其普及率提高会促进农业 TFP 提升,但边际效用在逐渐递减,所以东部地区的回归系数低于其他两个地区。

## 3. 内生性检验

从现有学者的研究成果来看,农业 TFP 增长和互联网之间可能存在互为因果的关系。一方面,互联网在农业中应用程度越高,可以推动农业生产技术的进步和优化资源配置,有效促进农业 TFP 增长。然而,另一方面,农业 TFP 具有典型的区域扩散效应,当地区之间农业 TFP 水平存在差异时,落后地区会向先进地区不断追赶,推进互联网这种新型生产要素在农业中的应用,从而缩小区域间的农业 TFP 水平。互为因果有可能导致内生性问题,造成计量结果估计的偏误。因此,本文要解决的一个重要问题就是互为因果可能带来的内生性问题。

借鉴刘乃郗等<sup>[24]</sup>的研究,本文采用滞后一期和滞后三期的互联网普及率指标作为工具变量对模型分别进行两阶段最小二乘法(2SLS)估计,结果如表 5 所示,其中(1)式和(2)式是分别以  $L.internet$  和  $L3.internet$  作为工具变量的估计结果,(3)式是同时以二者作为工具变量的估计结果。由该表结果可知,系数结果与前文基准回归的结果没有显著差异,内生性问题不足以对本文的实证结果造成影响,即本文的实证结果是稳健的。

表5 内生性检验

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln TFP$	$\ln TFP$	$\ln TFP$
<i>internet</i>	0.597*** (0.058)	—	—
	—	0.745*** (0.092)	—
	—	—	0.745*** (0.092)
常数项	-1.146*** (0.135)	-1.392*** (0.165)	-1.367*** (0.164)
观测值	341	279	279
$R^2$	0.476	0.402	0.413

注：\*\*\*表示 1%的显著性水平，()内为标准误。

## 五、进一步检验

### 1. 互联网对农业技术进步和技术效率改善的影响

接下来进一步对互联网影响农业 TFP 的具体维度(技术进步和技术效率)进行探讨。由表 6 中列(1)的检验结果可知,互联网对农业技术效率变化的估计系数值为 0.021,但并未通过显著性检验,说明在样本期间,互联网对农业技术效率变化并未发挥正向作用,可能是互联网对农业技术效率的作用受到了农业劳动力对信息技术运用能力的约束。由列(2)的检验结果可知,互联网对技术进步的估计系数值为 0.572,且在 1%的水平上显著,表明互联网对技术进步有促进作用,假说 1 得以验证。互联网加强了农业科研与生产的结合,提高了科研成果的转化率,有效地推动了农业技术的进步。基于以上分析可以发现,互联网对农业 TFP 增长的促进作用是通过影响农业技术进步来实现的。

表6 互联网影响农业 TFP 增长的具体维度

变量	(1)	(2)
	$\ln EFF$	$\ln TE$
<i>internet</i>	0.021 (0.05)	0.572*** (0.044)
控制变量	YES	YES
常数项	0.201 (0.247)	0.010 (0.221)
观测值	372	372
$R^2$	0.046	0.748

注：\*\*\*表示 1%的显著性水平，()内为标准误。

### 2. 人力资本的调节效应

本文采用去中心化后的互联网普及率和受教育水平的交互项( $c\_internet \times c\_inedu$ )来探究人力资本调节的效应,对公式(3)采用固定效应模型进行回归分析,结果如表 7 所示。 $c\_internet \times c\_inedu$

的回归系数为 0.667,在 1%的水平下通过了显著性检验,表明人力资本对互联网促进农业 TFP 增长具有显著的正向调节效应,假说 3 得以验证,说明随着生产者受教育水平的提高,互联网对农业 TFP 增长的促进作用会增强。一方面,受过良好教育的劳动力,继续学习的参与率比文化程度低的劳动力会更高,可以通过“干中学”来熟练掌握互联网的操作技术,进而增强互联网对农业 TFP 增长的促进作用。另一方面,高人力资本具备的分析、协调等能力是对信息技术的有益补充。互联网带来农业生产经营方式的转型,要求农民进一步强化数据分析能力、综合协调能力,有效利用信息技术对农业生产管理做出决策。

表7 人力资本调节效应估计结果

变量	$\ln TFP$	标准差	t值	p值
<i>internet</i>	0.549***	0.046	11.970	0.000
$c\_internet \times c\_inedu$	0.667***	0.159	4.180	0.000
$c\_inedu$	-0.311	0.123	-2.540	0.012
控制变量	Yes	—	—	—
常数项	-0.041***	0.083	-0.500	0.618

注：\*\*\*表示 1%的显著性水平。

## 六、研究结论与政策建议

本文采用 DEA-Malmquist 指数法分析 2004—2016 年我国 31 个省份农业 TFP 的演变趋势,并检验互联网对农业 TFP 增长的影响,对人力资本在这一过程中发挥的调节作用进行了实证检验。本文的主要结论如下:第一,我国农业 TFP 整体表现出增长的态势,2004—2016 年年均增长率为 3.1%,其中,农业技术进步年均增长率为 2.5%,农业技术效率年均增长率为 0.5%,说明农业 TFP 增长主要得益于农业技术进步,农业技术效率的贡献相对较小。各地区农业 TFP 增长存在差异,呈现由西至东递增的趋势。第二,互联网对我国农业 TFP 增长产生了显著的提升作用,这种作用呈现出中、西、东部依次递减的趋势。互联网对农业技术进步存在显著的正向影响,对技术效率并不显著,说明技术进步是互联网推动农业 TFP 提升的重要路径。第三,人力资本使得这种提升作用更加明显,说明随着生产者受教育水平的提升,互联网对农业 TFP 的促进作用会更明显。

基于以上研究,本文得到如下政策启示:一是

应大力推动互联网和农业深度融合,以提升我国农业全要素生产率。大力推进农业遥感和智能农机等新兴技术的应用,强化科研与生产的结合,推动农业前沿技术进步。同时,还应加强互联网在农业产业链中的应用,提升农业生产技术效率。二是应推进乡村信息化建设,提高农村互联网普及率,深化宽带网、5G 站在农村的覆盖,加快农业生产经营的数字化改造,助力地区“互联网+农业”政策的落地。三是应重视农村人力资本开发,实施农民网络素养提升工程,为新型职业农民提供在线教育培训、移动互联服务等,培养一批有文化、懂技术的新农人。

#### 注释:

- ① 由于数据来源所限, CINNC 中各省份互联网普及率的数据仅更新到 2016 年,所以本文的数据都只截取至 2016 年。同时,港澳台地区的相关数据存在缺失,没纳入研究范围,这仅限于一种学术处理。
- ② 按照国家统计局的一般划分方式,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南,中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南,西部地区包括蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。

#### 参考文献:

- [1] MAT A, YJ A, XZ B, et al. Increasing Ghanaian fish farms' productivity :Does the use of the internet matter?[J]. Marine Policy, 2021, 125 .
- [2] M MARTÍNEZ, MORA-RIVERA J .Internet adoption and usage patterns in rural Mexico[J]. Technology in Society , 2020 , 60 .
- [3] ZHU XIAOKE , HU RRUIFA , ZHANG CHAO , et al . Does internet use improve technical efficiency? Evidence from apple production in China[J] . Technological Forecasting & Social Change , 2021 , 166 .
- [4] MA W , WANG X . Internet use , sustainable agricultural practices and rural incomes : Evidence from China[J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics , 2020(59):1-26 .
- [5] ZHENG HONGYUN , MA WANGLIN , WANG FANG , et al . Does internet use improve technical efficiency of banana production in China? Evidence from a Selectivity-corrected Analysis[J] . Food Policy , 2021 , 102(1).
- [6] 朱秋博,白军飞,彭超,等.信息化提升了农业生产率吗?[J]. 中国农村经济,2019(4):22-40 .
- [7] 刘涛,王波,李嘉梁.互联网、城镇化与农业生产全要素生产率[J]. 农村经济,2019(10):129-136 .
- [8] 李欠男,李谷成.互联网发展对农业全要素生产率增长的影响[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2020(4):71-78 .
- [9] ANN B, CASEY I, KATHRYN S .How does information technology affect productivity? Plant-level comparisons of product innovation , process improvement , and worker skills[J] . The Quarterly Journal of Economics , 2007 , 122(4) : 1721-1758 . .
- [10] 王艳华. “互联网+农业”开启中国农业升级新模式[J]. 人民论坛,2015(23):104-106 .
- [11] 刘金龙,陆祥,陆康.农机智能化及发展趋势[J]. 科技与创新,2017(7):123-124 .
- [12] 张洋,陈文波.澳大利亚 e-Research 环境与创新[J]. 中国教育网络,2018(7):35-37 .
- [13] 刘学敏.以科技创新助力脱贫攻坚与乡村振兴衔接[J]. 开放导报,2021(3):80-86 .
- [14] 张在一,毛学峰. “互联网+”重塑中国农业:表征、机制与本质[J]. 改革,2020(7):134-144 .
- [15] 殷浩栋,霍鹏,汪三贵.农业农村数字化转型:现实表征、影响机理与推进策略[J]. 改革,2020(12):48-56 .
- [16] 黄祖辉,张静,KEVIN CHEN.交易费用与农户契约选择——来自浙冀两省 15 县 30 个村梨农调查的经验证据[J]. 管理世界,2008(9):76-81 .
- [17] 万宝瑞.我国农村又将面临一次重大变革——“互联网+三农”调研与思考[J]. 农业经济问题,2015,36(8):4-7 .
- [18] 倪浩,刘志民.家庭农场互联网农业技术采纳行为及影响因素研究——以江苏省 9 市 270 户家庭农场为例[J]. 南京社会科学,2019(2):34-40 .
- [19] 周绍东. “互联网+”推动的农业生产方式变革——基于马克思主义政治经济学视角的探究[J]. 中国农村观察,2016(6):75-85 .
- [20] 郭家堂,骆品亮.互联网对中国全要素生产率有促进作用吗?[J]. 管理世界,2016(10):34-49 .
- [21] 温忠麟,侯杰泰,张雷.调节效应与中介效应的比较和应用[J]. 心理学报,2005(2):268-274 .
- [22] 程名望,张家平.互联网普及与城乡收入差距:理论与实证[J]. 中国农村经济,2019(2):19-41 .
- [23] 郭剑雄,鲁永刚.人力资本门槛与农业增长的多重均衡:理论与中国的经验证据[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版),2011,26(6):136-146 .
- [24] 刘乃郗,韩一军,王萍萍.FDI 是否提高了中国农业企业全要素生产率?——来自 99801 家农业企业面板数据的证据[J]. 中国农村经济,2018(4):90-105 .

责任编辑:李东辉