

中国数字农业经济高质量发展水平测度及数字普惠金融对其影响的研究

张靖怡

南京信息工程大学数学与统计学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年10月13日; 录用日期: 2025年10月29日; 发布日期: 2025年11月27日

摘 要

数字农业是信息技术与传统农业的融合, 其发展水平高低直接影响社会经济发展基石的稳定, 需要开展深入研究。本文以数字农业的发展环境、基础设施、人才资源、技术支持、绿色发展和产业效益为切入点, 建立中国数字农业经济高质量发展的评价指标体系; 运用灰色关联度结合TOPSIS法(即Technique for Orde Preference by Similarity to Ideal Solution的缩写)的综合评价模型对中国31个省级行政单位2019年至2023年的数字农业经济发展情况进行了实证测算和评价, 并建立了动态面板模型, 以探究数字农业经济高质量发展水平的影响因素。研究发现, 中国数字农业经济的高质量发展综合得分和排名整体呈现出相对稳定的态势, 且各省数字农业经济高质量发展很缓慢; 在全国范围内, 不同省级行政单位的综合得分存在明显的差异, 呈现出从东向西递减的趋势。然而, 西部地区的进步势头却比东部更为显著。此外, 数字普惠金融指数及其三个维度的二级指标、政策经济水平、基础设施水平和技术水平均对数字农业经济的高质量发展水平产生了显著的推动作用。

关键词

数字农业经济, 高质量发展, 综合评价, 普惠金融, 灰色关联度

Research on the Measurement of High-Quality Development Level of China's Digital Agricultural Economy and the Impact of Digital Inclusive Finance on It

Jingyi Zhang

School of Mathematics and Statistics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Received: October 13, 2025; accepted: October 29, 2025; published: November 27, 2025

文章引用: 张靖怡. 中国数字农业经济高质量发展水平测度及数字普惠金融对其影响的研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(11): 2662-2674. DOI: 10.12677/ecl.2025.14113732

Abstract

Digital agriculture represents the integration of information technology with traditional agriculture. Its development level directly impacts the stability of the foundation for social and economic development, necessitating in-depth research. This study establishes an evaluation index system for the high-quality development of China's digital agricultural economy, focusing on six dimensions: development environment, infrastructure, human resources, technological support, green development, and industrial benefits. A comprehensive evaluation model combining the Grey Relational Analysis (GRA) and TOPSIS method (short for Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) is applied to conduct empirical measurement and evaluation of the digital agricultural economic development of 31 provinces and cities in China from 2019 to 2023. Additionally, a dynamic panel model is constructed to explore the influencing factors of the high-quality development level of the digital agricultural economy. The research findings indicate that the comprehensive scores and rankings of the high-quality development of China's digital agricultural economy generally show a relatively stable trend, while the high-quality development of digital agriculture in various provinces progresses slowly. Across the country, there are significant differences in the comprehensive scores among different provinces, presenting a decreasing trend from the eastern to the western regions. However, the western region shows a more remarkable momentum of progress than the eastern region. Furthermore, the digital inclusive finance index and its three secondary indicators (at the dimensional level), policy and economic level, infrastructure level, and technological level all exert a significant promoting effect on the high-quality development level of the digital agricultural economy.

Keywords

Digital Agricultural Economy, High-Quality Development, Comprehensive Evaluation, Inclusive Finance, Grey Relational Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言及文献综述

在数字中国建设与乡村振兴战略推进背景下，数字农业成为农业现代化的关键抓手。当前中国农业数字化水平虽有提升，但 2021 年农业数字经济增长率仅 9.2%，与全行业差距明显，且区域发展不均衡。本文立足 2019~2023 年中国 31 个省级行政单位数据，先明确数字农业高质量发展内涵、构建评价指标体系，再用灰色关联度-TOPSIS 法测度其发展水平，最后通过固定效应模型探究影响因素，旨在为理论研究补位、为实践提供政策参考。

在概念研究上，学者们从不同维度界定数字农业高质量发展。任保平[1]等人指出，其区别于高速增长，聚焦质与量协同，涵盖效率、稳定性与持续性；阮俊虎[2]等人认为，其终极成果体现为农业基础设施数字化、投入产出精准化、全产业链透明化及决策支持智能化；刘海启[3]则从农业产业数字化与数字技术产业化双视角切入，强调既要关注数字技术对农业全产业链的应用水平，也要重视其与农业深度融合后的产业化水平。

测度研究方面，不同主体构建了多维度指标体系。农村部信息中心(2019) [4]从发展环境、基础支撑等 7 个维度设 13 项指标，通过层级审核评价县域数字农业农村发展；2020 年调整为 6 个维度 15 项指标

[5], 契合相关战略部署。慕娟等(2021) [6]针对农业农村数字经济, 从数字基础设施、农业数字化等 3 个维度设 11 项指标评估; 周恩宇和赵浪(2024) [7]从数字农业基础设施、数字农业发展转型、数字农业产业化水平、农业数字化水平四个方面对中国数字农业发展水平进行测度和评价; 崔开济(2025) [8]从发展环境、信息基础、人才与技术资源、绿色发展、农业产业数字化融合水平 5 个层面选取 21 个相关指标构建数字农业发展指标体系。

影响因素研究方面, 目前对数字农业的研究匮乏, 对数字农业影响因素的研究更是少之又少。陈婧琦(2024) [9]指出数字化基础设施、政策措施、绿色可持续性及技术规范对广东数字农业的发展水平具有显著的积极影响。

综上所述, 既有研究虽已围绕数字农业经济展开诸多探索, 但对于数字农业经济的测度, 因指标选取存在差异, 尚未能形成统一结论; 同时, 有关数字农业影响因素的研究, 也相对较为匮乏, 现有的实证研究主要是围绕着农业信息化和数字经济这两个领域展开的, 很少有人会对数字农业的高质量发展程度展开全面的评估, 对其影响因素进行探讨。基于此, 本文结合相关理论, 参考已有评估报告指标, 拟在数字农业经济高质量发展指标体系构建、综合评价及影响因素分析方面进行改进与探索。

2. 指标体系构建

为确保资料的可得性、真实性与客观性, 文中所涉数据主要来源于 2019~2023 年《中国统计年鉴》及《中国农村统计年鉴》, 由于数据的可得性原因, 本文不包含我国港澳台地区的样本数据。其中, 2023 年数据为国家统计局发布的“初步核算数”, 尚未经最终核实, 可能存在后续修订; 部分指标为基于已有资料的推算或预测值, 使用时已考虑其潜在不确定性。在数据获取方面, 一些地区有一些指标某一年出现了数据缺失现象, 针对缺失数据, 本文首先采用线性插值法进行补充。为进一步验证结果的稳健性, 亦尝试了均值插补与多重插补等方法, 核心结论未发生显著变化, 表明研究结果对缺失值处理方式不敏感。本文按照整体性、代表性、数据的可获得性、系统性原则选取了 6 个层面 26 项指标, 构建了数字农业高质量发展评价指标体系, 见表 1 并将利用灰色关联度分析结合 TOPSIS 法对其进行综合评价。

Table 1. Indicator system for the high-quality development of digital agriculture

表 1. 数字农业高质量发展指标体系

目标层	准则层	指标层	指标代码
数字农业评价指标体系 (A)	数字农业发展环境(B1)	科学研究和技术服务业固定资产投资(亿元)	B11
		信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资(亿元)	B12
		交通运输、仓储和邮政业固定资产投资(亿元)	B13
		农业机械总动力(万千瓦)	B14
		农村用电量(亿千瓦时)	B15
	数字农业信息基础(B2)	农村宽带接入用户(万户)	B21
		光缆线路长度(公里)	B22
		移动电话交换机容量(万户)	B23
		信息技术服务收入(万元)	B24
		IPv4 地址数(万个)	B25
	数字农业人才资源(B3)	科学研究和技术服务业就业人员(万人)	B31
		信息传输、软件和信息技术服务业从业人员(万人)	B32
		地方财政教育支出(亿元)	B33
	数字农业技术支持(B4)	电信业务总量(亿元)	B41
		专利申请数(件)	B42
		技术市场交易额(万元)	B43

续表

数字农业绿色发展(B5)	单位面积农药投用量(kg/hm ²)	B51
	单位面积化肥施用量(kg/hm ²)	B52
	单位面积塑料薄膜使用量(kg/hm ²)	B53
	耕地灌溉面积(千公顷)	B54
	水土流失治理面积(千公顷)	B55
数字农业产业效益(B6)	有电子商务交易活动企业数(个)	B61
	邮政业网点(处)	B62
	农林牧渔业总产值(亿元)	B63
	电子商务采购额(亿元)	B64
	电子商务销售额(亿元)	B65

数字农业高质量发展的前提条件在于其所处的发展环境，其中包括科技研究、信息技术服务、信息传输、交通、仓储、邮政等资源的投入情况，以及农业农村发展所处的基本环境条件。第二，要想实现数字农业的高质量发展，必须建立在信息基础上，而信息基础设施则是农村通信基础设施建设的一个重要指标，主要表现在宽带网络、移动网络、信息技术服务、网络、电视等方面。第三，数字农业的高质量发展离不开人才资源的有力支撑，农业数字化转型、数字农业现代化建设都离不开人才，但我国的教育体制以及农业数字化技术与相关学科的设置，都不能很好地满足数字农业发展的人才需求，其中包括地方教育的投入、信息化人才的培养以及农业技术人员的培养。第四，技术支持是数字农业高质量发展的助推器。具体包括三个方面：一是与数字农业相关的电子信息产业的发展情况，包括电子信息制造业、软件和信息技术服务业的发展情况；二是通信产业的发展情况，包括电信业务总量、移动电话用户数、互联网上网人数等；三是与数字农业相关的软件和信息技术服务业的发展情况。第五，要实现数字农业高质量发展，就必须坚持绿色发展理念。具体来说，就是要确保农药、化肥、塑料薄膜的使用能够得到合理有效的利用；土地有效灌溉面积能够得到科学合理的计算；土壤中的养分含量能够得到科学的监测。第六，数字农业的高质量发展离不开产业效益的不断推动，其中农业产值和电子商务的蓬勃发展是不可或缺的动力源泉。

3. 指标体系权重

决策人对各种属性的关注程度决定了主观赋权方法的权重，导致评价结果带有明显的主观武断性。由于决策者往往会根据自己的经验和知识赋予不同的权重，因而导致了主观与客观因素之间存在着较大的偏差。客观权法赋权的优势在于其结果具有典型、科学的特点。通过比较，熵值法在不受主观影响的情况下，能够较好地体现信息熵的效用价值，并能得到较为精确的结果。在信息理论中，熵被定义为对不确定性的度量。熵方法的基本原理是通过对随机、无序等因素的分析，来确定熵值，并利用熵值法来判定某个指标的离散度。如果某一指标的偏离对它的整体评价有很大的作用，那么它的偏离度就会越来越大，这时用熵值法来衡量一个指标的分散度。熵值法能客观地决定各指标的权重，从而使评价更具客观性。经过计算，权重结果如表 2 和表 3 所示：

Table 2. Criteria layer weight results
表 2. 准则层权重结果

熵值法计算权重结果汇总			
项	信息熵值 e	信息效用值 d	权重系数
数字农业绿色发展	0.9263	0.0737	24.27%
数字农业产业效益	0.9673	0.0327	10.76%

续表

数字农业技术支持	0.9027	0.0973	32.02%
数字农业人才资源	0.9822	0.0178	5.84%
数字农业基础设施	0.9820	0.0180	5.91%
数字农业发展环境	0.9356	0.0644	21.19%

Table 3. Calculation results of indicator layer weights
表 3. 指标层权重计算结果

熵值法计算权重结果汇总			
项	信息熵值 e	信息效用值 d	权重系数 w
科学研究和技术服务业固定资产投资(亿元)	0.870	0.130	5.60%
信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资(亿元)	0.937	0.063	2.69%
交通运输、仓储和邮政业固定资产投资(亿元)	0.921	0.079	3.38%
农业机械总动力(万千瓦)	0.896	0.104	4.46%
农村用电量(亿千瓦时)	0.906	0.094	4.03%
农村宽带接入用户(万户)	0.936	0.064	2.74%
长途光缆线路长度(公里)	0.958	0.042	1.81%
移动电话交换机容量(万户)	0.914	0.086	3.69%
信息技术服务收入(亿元)	0.894	0.106	4.56%
IPv4 地址数(万个)	0.875	0.125	5.39%
科学研究和技术服务业就业人员(万人)	0.903	0.097	4.16%
信息传输、软件和信息技术服务业从业人员(万人)	0.903	0.097	4.18%
地方财政教育支出(亿元)	0.904	0.096	4.14%
电信业务总量(亿元)	0.891	0.109	4.67%
专利申请数(件)	0.895	0.105	4.50%
技术市场交易额(万元)	0.888	0.112	4.80%
有电子商务交易活动企业数(个)	0.939	0.061	2.61%
邮政业网点(处)	0.934	0.066	2.82%
农林牧渔业总产值(亿元)	0.936	0.064	2.73%
电子商务采购额(亿元)	0.884	0.116	5.00%
电子商务销售额(亿元)	0.893	0.107	4.58%
农药使用量(吨)	0.940	0.061	2.60%
化肥施用量(万吨)	0.915	0.086	3.67%
农用塑料薄膜使用量(吨)	0.895	0.105	4.52%
耕地灌溉面积(千公顷)	0.917	0.083	3.57%
水土流失治理面积(千公顷)	0.928	0.072	3.09%

通过数据分析，二级指标的权重总体可以分为 4 类：第一类是权重大于等于 0.05 的三项指标，其中科学研究和技术服务业固定资产投资(B11)的权重为 0.056，在所有评价指标中对数字农业发展水平影响最大；IPv4 地址数(B25)、电子商务采购额(B64)权重都大于等于 0.05，表明其对数字农业发展水平的影响较大。第二类指标权重介于 0.03~0.05 之间，包括农业机械总动力(B14)、农村用电量(B15)、移动电话交换机容量(B23)、信息技术服务收入(B24)、科学研究和技术服务业就业人员(B31)、地方财政教育支出(B33)、电信业务总量(B41)、专利申请数(B42)、技术市场交易额(B43)、电子商务销售额(B65)、化肥施用量(B52)、农用塑料薄膜使用量(B53)、耕地灌溉面积(B54)、水土流失治理面积(B55)，表示其对数字农业发展水平有一定程度的影响。第三类指标权重介于 0.02-0.03 之间，包括农村宽带接入用户(B21)、有电子商务交易活动企业数(B61)、邮政业网点(B62)、农林牧渔业总产值(B63)、农药使用量(B51)，表示其对数字农业发

展水平有较小程度影响。第四类指标权重介于 0.01~0.02 之间，只有长途光缆线路长度(B22)，表示其对数字农业影响程度比较微小。

4. 省域数字农业高质量发展水平分析

灰色关联分析[10]是对一个系统发展变化态势的定量描述和比较的方法，其基本思想是通过确定参考数列和若干个比较数列的几何形状相似程度来判断其联系是否紧密，它反映了曲线间的关联程度。曲线越接近，相应序列间的关联度就越大，反之就越小。由于灰色关联分析是基于实际指标序列与参考序列之间的关联性来评估质量发展，所以参考序列的选择可以减少主观因素的影响，提高评估结果的客观性。关联度越高，说明乡村振兴背景下地区的数字农业经济发展情况越好。

步骤如下：

第一步、把所有指标进行正向化处理。对于极小型属性的数据进行正向化处理：

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

第二步、标准化正向化矩阵。把数据的范围缩小，消除量纲影响。公式如下：

$$x_{ij}^{**} = \frac{x_{ij}^*}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^*} \quad (2)$$

将经过了上述两步处理的矩阵记为：

$$Z_{n \times m} = (z_{ij})_{n \times m} \quad (3)$$

第三步、将经过正向化和预处理的矩阵，运用 TOPSIS 方法[11]，在每行中提取一个最大值，以此作为母序列。记母序列为

$$x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\} \quad (4)$$

子序列为

$$x_1 = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)\}, x_2 = \{x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(n)\}, \dots, x_m = \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)\} \quad (5)$$

第四步、计算子序列某元素与母序列相应元素的关联度：

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min \min_{ik} |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max_{ik} |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max_{ik} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (6)$$

其中 ρ 取 0.5。

第五步、计算指标与系统总体的关联程度：

$$r_i = \gamma(x_0, x_i) = \frac{\sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k))}{n} \quad (7)$$

第六步、计算各个指标的权重，最终结果见表 4。

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^m r_j} \quad (8)$$

Table 4. The correlation degree and weight between indicators and the overall system
表 4. 指标与系统总体的关联程度及权重

评价项	关联度	排名	权重
科学研究和技术服务业固定资产投资(亿元)	0.765	10	0.0387
信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资(亿元)	0.761	13	0.0385
交通运输、仓储和邮政业固定资产投资(亿元)	0.767	8	0.0388
农业机械总动力(万千瓦)	0.77	6	0.0390
农村用电量(亿千瓦时)	0.759	15	0.0384
农村宽带接入用户(万户)	0.764	12	0.0387
长途光缆线路长度(公里)	0.772	3	0.0391
移动电话交换机容量(万户)	0.758	16	0.0384
信息技术服务收入(亿元)	0.745	24	0.0377
IPv4 地址数(万个)	0.748	21	0.0379
科学研究和技术服务业就业人员(万人)	0.747	22	0.0378
信息传输、软件和信息技术服务业从业人员(万人)	0.742	26	0.0376
地方财政教育支出(亿元)	0.757	17	0.0383
电信业务总量(亿元)	0.766	9	0.0388
专利申请数(件)	0.755	18	0.0382
技术市场交易额(万元)	0.748	20	0.0379
有电子商务交易活动企业数(个)	0.751	19	0.0380
邮政业网点(处)	0.76	14	0.0385
农林牧渔业总产值(亿元)	0.765	11	0.0387
电子商务采购额(亿元)	0.744	25	0.0377
电子商务销售额(亿元)	0.746	23	0.0378
农药使用量(吨)	0.77	5	0.0390
化肥施用量(万吨)	0.77	4	0.0390
农用塑料薄膜使用量(吨)	0.772	2	0.0391
耕地灌溉面积(千公顷)	0.768	7	0.0389
水土流失治理面积(千公顷)	0.785	1	0.0397

第七步、求出每个评价对象的得分。对于第 k 个评价对象：

$$S_k = \sum_{i=1}^m Z_{ki} w_i \tag{9}$$

第八步、对分数进行归一化处理：

$$S_k^* = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^n S_j} \tag{10}$$

此时的分数可以解释成相应的研究对象在总体研究对象中“某水平”的百分比，也就是所处的位置。

下表 5 仅列出中国数字农业高质量发展指标体系部分城市一级指标的灰色关联得分[12]，因篇幅所限，完整得分若有需要请邮件联系作者索取。

Table 5. The grey correlation score of China’s digital agriculture evaluation indicators
表 5. 中国数字农业评价指标的灰色关联得分

地区	年份	数字 农业 发展 环境		数字 农业 基础 设施		数字 农业 人才 资源		数字 农业 技术 支持		数字 农业 产业 效益		数字 农业 绿色 发展	
		得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
北京	2019	0.082	25	0.492	1	0.428	1	0.328	2	0.279	3	0.014	29
	2020	0.095	22	0.529	1	0.448	1	0.373	3	0.274	3	0.013	28
	2021	0.090	23	0.579	1	0.449	1	0.449	3	0.339	3	0.013	28
	2022	0.098	23	0.662	1	0.436	2	0.497	3	0.377	2	0.013	28
	2023	0.099	23	0.761	1	0.467	2	0.493	3	0.437	3	0.013	28
	均值	0.093	23.2	0.605	1	0.446	1.4	0.428	2.8	0.341	2.8	0.013	28.2
天津	2019	0.121	18	0.059	27	0.062	21	0.062	14	0.050	25	0.014	28
	2020	0.081	25	0.068	27	0.062	21	0.075	18	0.057	25	0.013	29
	2021	0.076	24	0.078	27	0.064	20	0.098	19	0.066	24	0.012	29
	2022	0.092	24	0.087	26	0.065	20	0.118	19	0.077	23	0.011	29
	2023	0.137	17	0.095	26	0.070	19	0.106	15	0.095	24	0.011	29
	均值	0.102	21.6	0.077	26.6	0.065	20.2	0.092	17	0.069	24.2	0.012	28.8
河北	2019	0.324	4	0.216	7	0.104	11	0.060	15	0.127	11	0.333	3
	2020	0.331	5	0.229	8	0.116	10	0.100	14	0.131	12	0.309	5
	2021	0.368	5	0.242	7	0.127	10	0.145	14	0.144	12	0.300	6
	2022	0.378	6	0.251	7	0.128	10	0.182	14	0.167	12	0.297	6
	2023	0.380	5	0.266	7	0.133	10	0.112	14	0.184	12	0.288	7
	均值	0.356	5	0.241	7.2	0.122	10.2	0.120	14.2	0.151	11.8	0.305	5.4
山西	2019	0.046	27	0.096	22	0.054	24	0.029	23	0.052	24	0.158	20
	2020	0.049	27	0.097	23	0.057	23	0.046	22	0.066	23	0.158	20
	2021	0.058	27	0.106	22	0.060	23	0.063	23	0.073	23	0.159	20
	2022	0.065	27	0.111	22	0.062	22	0.077	22	0.075	24	0.161	20
	2023	0.078	26	0.113	24	0.062	23	0.040	22	0.098	23	0.162	20
	均值	0.059	26.8	0.105	22.6	0.059	23	0.051	22.4	0.073	23.4	0.160	20

2019~2023 年，中国各省级行政单位数字农业发展呈现显著区域差异，在发展环境、基础设施、人才资源、技术支持、产业效益及绿色发展六大核心指标上表现各异，且与区域经济发展水平紧密关联。

在数字农业发展环境方面，东部省级行政单位优势突出。江苏连续四年灰色关联得分最高，均值达 0.571 分，农村用电量与科学研究和技术服务业固定资产投资是其核心贡献指标；山东得分均值 0.505 分，同样处于较高水平。而西藏(0.020 分)、宁夏(0.024 分)等西部省级行政单位得分垫底，农村用电量低是主要制约因素。期间，黑龙江、江西等中部省级行政单位排名呈增长趋势，部分东部省级行政单位如内蒙古、福建则有所下降。

数字农业基础设施指标中，北京凭借 IPv4 地址数优势，连续五年得分最高(均值 0.605 分)；广东依托信息技术服务收入，以 0.565 分稳居第二，二者均为东部省级行政单位。宁夏(0.028 分)、海南(0.032 分)持续排名末位，宁夏受信息技术服务收入与 IPv4 地址数不足影响，海南则因长途光缆线路长度欠缺受限。值得注意的是，江西、广西等西部省级行政单位排名进步明显，反映出西部对农业基础设施建设的重视程度提升。

数字农业人才资源供需矛盾突出。北京(均值 0.446 分)与广东(均值 0.405 分)是仅有的得分超 0.4 分的省级行政单位，但均未达 0.5 分，其余省级行政单位得分均低于 0.4 分，上海作为大都市也仅 0.224 分，

凸显数字农业人才稀缺性。东西部差距悬殊，北京得分是宁夏(0.013 分)的 35 倍，各省级行政单位人才资源发展协同性差。

技术支持层面呈现“断层式”分布。广东以 0.708 分成为六项指标中单项最高分，专利申请件数是关键支撑；第二名江苏仅 0.467 分，与广东差距显著。青海因技术市场交易额低、西藏因专利申请件数少，位列得分末尾。

产业效益指标上，广东蝉联五年第一，仅农林牧渔业总产值表现欠佳；山东(0.364 分)、北京(0.341 分)紧随其后，均为东部省级行政单位。西藏因电子商务销售额薄弱，继续排名倒数。福建、重庆、陕西等省级行政单位排名稳步提升，数字农业对其产业效益改善作用显著。

绿色发展指标整体水平偏低，各省级行政单位得分均未超 0.5 分。山东以 0.447 分居首，西藏(0.009 分)垫底，二者差距达 50 倍，远超人才资源领域差距，各省级行政单位协同发展水平低。但四川、甘肃等西部省级行政单位实现排名跃升，展现出西部在数字农业绿色发展上的潜力。

从综合排名看，表 6 所示，广东(均值 2.888 分)、江苏(2.300 分)、山东(2.103 分)位列前三；青海(0.149 分)、宁夏(0.142 分)、西藏(0.116 分)排名靠后。全国仅 12 个省级行政单位(主要为东中部地区)得分超均值(1.00)，发展水平呈“东部－中部”递减趋势。东中部省级行政单位凭借优越的地理位置、经济基础、自然资源禀赋及政策支持，数字农业发展优势明显，如湖北、湖南依托相关规划与产业活动，未来发展潜力巨大。综上，中国数字农业发展水平与区域经济发展水平高度相关，东部地区显著优于西部，未来需加强区域协同，重点弥补西部在基础设施、人才、技术等方面的短板，推动数字农业高质量均衡发展。

Table 6. Comprehensive ranking of digital agriculture in 31 provinces and cities of China

表 6. 中国 31 个省级行政单位数字农业综合排名

地区	2019	2020	2021	2022	2023	平均分	排名
北京	1.622	1.733	1.920	2.085	2.271	1.926	4
天津	0.369	0.356	0.394	0.451	0.514	0.417	27
河北	1.165	1.216	1.326	1.403	1.363	1.294	8
山西	0.436	0.473	0.518	0.550	0.553	0.506	26
内蒙古	0.698	0.695	0.738	0.752	0.761	0.729	20
辽宁	0.729	0.717	0.727	0.774	0.744	0.738	19
吉林	0.537	0.558	0.554	0.608	0.516	0.555	25
黑龙江	0.806	0.825	0.861	0.904	0.941	0.867	14
上海	0.922	1.063	1.143	1.100	1.295	1.104	12
江苏	1.942	2.168	2.364	2.596	2.430	2.300	2
浙江	1.359	1.510	1.689	1.845	1.793	1.640	5
安徽	1.006	1.076	1.154	1.277	1.376	1.178	11
福建	0.794	0.866	0.921	0.925	0.918	0.885	13
江西	0.656	0.696	0.755	0.830	0.865	0.760	18
山东	1.888	1.900	1.976	2.282	2.468	2.103	3
河南	1.354	1.473	1.559	1.727	1.671	1.557	7
湖北	1.042	1.111	1.239	1.258	1.313	1.193	10
湖南	1.003	1.148	1.296	1.404	1.452	1.261	9
广东	2.322	2.602	3.013	3.282	3.221	2.888	1
广西	0.682	0.753	0.839	0.926	0.960	0.832	17
海南	0.177	0.173	0.187	0.203	0.208	0.190	28
重庆	0.470	0.508	0.546	0.634	0.633	0.558	24
四川	1.284	1.409	1.626	1.771	1.763	1.571	6
贵州	0.512	0.570	0.604	0.665	0.612	0.593	22

续表

云南	0.747	0.798	0.866	0.937	0.891	0.848	15
西藏	0.104	0.108	0.121	0.124	0.122	0.116	31
陕西	0.730	0.797	0.848	0.933	0.931	0.848	16
甘肃	0.521	0.534	0.565	0.601	0.582	0.560	23
青海	0.142	0.149	0.153	0.155	0.143	0.149	29
宁夏	0.134	0.136	0.140	0.152	0.146	0.142	30
新疆	0.648	0.662	0.707	0.728	0.737	0.697	21

5. 变量选取

5.1. 被解释变量

数字农业高质量发展指数(DAQDI): 根据前文通过熵权法测算得出权重结合灰色关联度权重计算的数字农业高质量发展水平综合指数表示, 以此衡量全国 31 个省级行政单位的数字农业高质量发展水平。

$$w_i^* = 0.5w + 0.5w_i \tag{11}$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{t=1}^n x_{tj}} \tag{12}$$

$$DAQDI_j = \sum_{i=1}^m w_i^* \cdot p_{ij} \tag{13}$$

5.2. 核心解释变量

数字普惠金融指数(IND)。引用北京大学数字普惠金融指数(2011~2023) [13]衡量数字普惠金融发展状况。

政策经济水平(Eco): 本文采用地方财政农林水事务支出(亿元)来衡量衡量政策经济。

基础设施水平(Fac): 本文采用互联网域名数量来衡量基础设施水平。

技术水平(Tec): 本文采用技术市场交易额来衡量技术水平。具体见表 7。

Table 7. Variable selection

表 7. 变量选取

变量类型	指标名称	说明	指标符号
被解释变量	数字农业高质量发展指数	熵值法计算得出	DAQDI
	数字普惠金融	数字金融服务覆盖广度	COV
解释变量		数字金融服务使用深度	USG
		数字金融服务数字化程度	DIG
	政策经济水平	地方财政农林水事务支出	ECO
	基础设施水平	互联网域名	FAC
	技术水平	技术市场交易额	TEC

6. 理论框架与模型的构建

6.1. 理论框架

基于金融深化、技术创新与农业现代化理论, 构建“数字普惠金融三维度→要素赋能→数字农业高质量发展多维提升”的理论逻辑, 提出假设数字普惠金融对数字农业高质量发展具有显著正向促进作用

且数字普惠金融三维度对数字农业高质量发展的影响存在异质性。

6.2. 模型构建

考虑到模型的意义和代表性问题，本文运用 stata16 对我国 31 个省级行政单位的面板数据进行回归分析。为了探究数字农业高质量发展水平的影响因素及机制，本文基于理论模型和研究目的，通过 Hausman 检验确定建立固定效应模型如下：

$$DAQDI_{i,t}=\alpha+\beta IND_{i,t}+\gamma Z_{i,t}+u_i+e_{i,t}$$
 (14)

该式反映数字普惠金融对数字农业高质量发展的影响，其中下标*i*代表省级行政单位，*t*代表年份，*Z_{i,t}*是一系列可能对因变量产生影响的控制变量，*e_{i,t}*是随机误差项。

本文将逐个以一个变量为解释变量，剩余三个为控制变量构建固定效应模型。

7. 回归结果分析

全国数字普惠金融促进乡村产业发展的总效应的回归结果被整理到表 8 中。该模型(1)为数字普惠金融总指数对数字农业高质量发展水平的回归，模型(2) (3) (4) (5) (6) (7)分别为数字普惠金融的覆盖广度、使用深度、数字化程度三个维度及政策经济水平、基础设施水平和技术水平与数字农业高质量发展水平的回归结果。

Table 8. Regression results of the national total sample
表 8. 全国总样本回归结果

解释变量	被解释变量：数字农业高质量发展指数						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
IND	0.010*** (7.09)				0.004 (1.13)	0.003** (2.12)	0.004 (1.33)
COV		0.008*** (5.75)					
USG			0.009*** (6.80)				
DIG				0.011*** (7.29)			
ECO	0.0007 (1.12)	0.001 (1.36)	0.001* (1.86)	0.001** (2.31)	0.003*** (3.37)	0.003*** (4.17)	0.003*** (3.80)
FAC	0.003*** (3.4)	0.003*** (2.97)	0.003*** (3.68)	0.002*** (3.04)	0.002** (2.05)	0.004** (2.16)	0.002** (2.15)
TEC	0.003*** (7.25)	0.004*** (7.92)	0.003*** (7.45)	0.004*** (7.43)	0.006*** (7.25)	0.005*** (10.52)	0.006*** (8.3)
R Squared	0.813	0.801	0.819	0.792	0.753	0.758	0.749

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。

实证回归结果显示，数字普惠金融及政策经济、基础设施、技术水平均对数字农业高质量发展有显著推动作用，且各影响因素内部存在作用差异。

模型(1)结果表明，数字普惠金融指数(IND)回归系数为 0.010，且在 1%水平下显著为正。这得益于数字普惠金融的模式创新，如传统金融机构数字化改造与在线业务拓展，突破传统金融时空限制，降低涉农金融服务经营成本；同时，大数据构建的农户数字化征信体系，有效降低涉农贷款信用风险，使其在服务数字农业发展中具备显著优势。

模型(2)~(4)针对数字普惠金融三维度的回归显示，覆盖广度、使用深度、数字化程度回归系数分别为 0.008、0.009、0.011，均在 1%水平下显著为正，且系数依次递增。这说明三者均能促进数字农业高质量发展，其中数字化程度作用最大，使用深度次之，覆盖广度最弱。

模型(5)~(7)结果显示，政策经济水平、基础设施水平、技术水平回归系数分别为 0.03、0.04、0.06，政策经济与技术水平在 1%水平下显著，基础设施在 5%水平下显著，且系数依次递增。可见三者均有显著推动作用，技术水平影响最大，基础设施次之，政策经济水平最弱。

8. 稳健性检验

本文采取滞后一期解释变量来进行稳健性检验。检验结果见表 9。

Table 9. Regression results of the national total sample
表 9. 解释变量滞后一期的回归结果

解释变量	被解释变量:数字农业高质量发展指数						
	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
L.IND	0.013*** (6.58)				0.002** (2.5)	0.004 (1.02)	0.004 (1.22)
L.COV		0.007*** (6.12)					
L.USG			0.010*** (5.89)				
L.DIG				0.015*** (7.25)			
L.ECO	0.001 (1.12)	0.0009* (1.80)	0.002* (1.86)	0.001* (1.67)	0.003*** (5.11)	0.003*** (4.65)	0.002** (2.38)
L.FAC	0.002** (2.40)	0.002 (0.97)	0.003*** (4.10)	0.003*** (3.59)	0.003** (2.13)	0.002*** (6.23)	0.003** (2.09)
L.TEC	0.004*** (6.95)	0.003*** (7.18)	0.003*** (7.76)	0.004*** (6.99)	0.005*** (6.36)	0.004*** (9.35)	0.006*** (7.69)
R Squared	0.803	0.791	0.821	0.799	0.756	0.820	0.795

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。

从回归结果可以看出，将解释变量替换为滞后一期后，回归系数和显著性水平都未出现显著变化，从模型(8)到模型(14)可以看出，数字普惠金融与其三个维度和政策经济水平、基础设施水平和技术水平回归系数均为正值，且在显著水平上也显著，与前文主要研究结论相符，表明了本文的模型是稳健的。

9. 结论

通过建立数字农业高质量发展评价指标体系，对我国 2019 年至 2023 年数字农业高质量发展状况进行了测量和评估，对数字农业高质量发展情况、趋势以及 31 个省级行政单位在数字农业发展方面的差异进行了系统分析，得出了以下主要结论：中国数字农业高质量发展综合得分、排名整体变化幅度较小，各省数字农业发展缓慢、进步程度小。我国数字农业发展水平排在前列的大多是经济发达的东部地区例如广东、江苏和北京等，但进步趋势明显的却是西部的略欠发达地区。各省之间的数字农业发展水平存在明显差异，呈现出从东到西的下降趋势。与东部和中部地区相比，西部地区在基础设施、人力资源、技术支持、产业效率和龙头企业等方面存在明显的数字鸿沟，表明该地区相对滞后。研究结果显示，数字普惠金融指数对数字农业的发展水平产生了积极的推动作用，并且数字普惠金融的三个维度和政策经

济水平、基础设施水平和技术水平对数字农业的发展水平产生了积极的影响。具体而言,数字普惠金融层面,数字化程度对数字农业高质量发展水平的提升起到了最为显著的作用,其次是使用深度,而覆盖面则相对较弱。另一方面,技术水平对数字农业高质量发展水平提升的影响作用最大,基础设施水平次之,政策经济水平最弱。

参考文献

- [1] 任保平,李禹墨.新时代我国高质量发展评判体系的构建及其转型路径[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2018,47(3):105-113.
- [2] 阮俊虎,刘天军,冯晓春,乔志伟,霍学喜,朱玉春,胡祥培.数字农业运营管理:关键问题、理论方法与示范工程[J].管理世界,2020,36(8):222-233.
- [3] 刘海启.加快数字农业建设 为农业农村现代化增添新动能[J].中国农业资源与区划,2017,38(12):1-6.
- [4] 中国农业农村部.2019 全国县域数字农业农村发展水平评价报告(2019 年) [R/OL].
<https://www.agri.cn/zt/sznync/gzdt/201904/P020231106396721941941.pdf>, 2025-09-19.
- [5] 中国农业农村部.2020 全国县域数字农业农村发展水平评价报告(2020 年) [R/OL].
<https://www.agri.cn/zt/sznync/gzdt/202011/P020231106396746486000.pdf>, 2025-09-19.
- [6] 慕娟,马立平.中国农业农村数字经济发展指数测度与区域差异[J].华南农业大学学报(社会科学版),2021,20(4):90-98.
- [7] 周恩宇,赵浪.中国数字农业发展的区域差异、时空特征与驱动因素识别[J].四川农业大学学报,2024,42(1):215-223.
- [8] 崔开济,程鹏豪,安琪.中国数字农业发展的区域差异评价[J].农村·农业·农民,2025(6):32-35.
- [9] 陈婧琦.广东省数字农业发展水平及影响因素分析[D]:[硕士学位论文].南昌:江西财经大学,2024.
- [10] Chang, K.C. and Yeh, M.F. (2005) Grey Relational Analysis Based Approach for Data Clustering. *IEE Proceedings—Vision, Image, and Signal Processing*, **152**, Article 165.
- [11] Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. and Izadikhah, M. (2006) Extension of the TOPSIS Method for Decision-Making Problems with Fuzzy Data. *Applied Mathematics and Computation*, **181**, 1544-1551.
<https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.02.057>
- [12] 肖枝洪,张宇欢,龚乃林.国家中心城市高质量发展综合评价——基于 CRITIC 法的灰色关联度分析[J].重庆三峡学院学报,2022,38(2):49-63.
- [13] 郭峰,王靖一,王芳,孔涛,张勋,程志云.测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J].经济学(季刊),2020,19(4):1401-1418.