

# 基于PVAR模型的智慧农业与农业经济增长的动态影响实证研究

李浪, 朱小栋

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年11月5日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2023年12月29日

## 摘要

发展现代智慧农业, 助力农业高质量发展, 带动农民增收、乡村振兴是农业现代化发展的趋势所在, 推进农业现代化是实现高质量发展的必然要求。文章基于2010~2019年中国30个省(市)的面板数据对智慧农业发展水平进行综合评价, 并运用面板向量自回归模型研究两者的动态发展关系, 研究发现: 1) 我国不同地区智慧农业发展水平综合得分呈东高西低分布态势。2) 在2010~2019年间, 智慧农业发展水平总体呈缓慢上升趋势, 不同地区间的上升幅度存在差异。3) 智慧农业与农业经济增长之间存在相互作用力, 农业经济的稳定增长对智慧农业的发展起到了重要推进作用, 智慧农业发展初期对农业经济的增长产生了负向影响, 该影响随着时间推移会由负转正对农业经济增长产生不显著的正向效应。4) 农业经济增长对于智慧农业发展的贡献度在后期稳定在1.6%, 优于智慧农业对农业经济增长的贡献度。

## 关键词

智慧农业, 农业经济增长, 熵值法, PVAR模型

# Empirical Research on the Dynamic Impact of Smart Agriculture and Agricultural Economic Growth Based on PVAR Model

Lang Li, Xiaodong Zhu

Business School of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Nov. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The development of modern smart agriculture, boosting the high-quality development of agricul-

ture, driving farmers to increase their income and revitalizing the countryside is where the trend of agricultural modernization lies, and the promotion of agricultural modernization is an inevitable requirement for achieving high-quality development. The article is based on the panel data of 30 provinces (cities) in China from 2010 to 2019 to conduct a comprehensive evaluation of the level of development of smart agriculture, and the panel vector autoregressive model is used to study the dynamic development of the relationship between the two, and the study finds that 1) the comprehensive score of the level of development of smart agriculture in different regions of China shows an east-high and west-low distribution trend. 2) During the period from 2010 to 2019, the overall level of smart agriculture development showed a slow upward trend, and there were differences in the rise between different regions. 3) There is an interaction force between smart agriculture and agricultural economic growth, and the stable growth of the agricultural economy plays an important role in promoting the development of smart agriculture, and the early stage of the development of smart agriculture has a negative impact on the growth of the agricultural economy, and this impact will turn from negative to positive over time to produce a non-significant positive effect on the growth of the agricultural economy. 4) The contribution of agricultural economic growth to the development of smart agriculture is stabilized at 1.6% in the late stage, which is better than the contribution of smart agriculture to agricultural economic growth.

## Keywords

Smart Agriculture, Agricultural Economic Growth, Entropy Method, PVAR Model

Copyright © 2023 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

农业是一个国家发展的根本和命脉, 不仅关乎国家粮食安全, 也直接影响着经济发展的平稳进行。新世纪以来, 我国也在持续不断探索着强农兴农的发展道路, 二月份国家发布的 2023 年中央一号文件中, 再次提及了指导“三农”工作的重要性, 可见国家对于农业、农村和农民工作发展的重视, 然而, 由于近年来中国农业劳动力流失严重, 农业生产受自然条件制约, 从而在农业生产中面临收益递减的困境, 传统的农业模式已经无法满足农业高质量发展的需求。科技时代的背景下, 随着数字化、网络化的全面融入, 作为传统行业的农业面对的是挑战更是机遇。新一代的信息技术如物联网、大数据、云计算等逐渐穿透至农业生产全过程, 产生了智慧农业等新型农业形态, 改变着农业生产方式与模式。相比较于传统农业, 智慧农业可以通过其精准的数据驱动分析, 对土壤、气候、作物生长等各种条件进行尽可能全面的监测, 从而提高资源利用率, 降低对环境的影响, 并将农业科技成果转化为实际生产力, 提高农业经济效益。但同时由于农村地区基础设施建设落后、信息传播滞后、人口老龄化、对智慧技术的认识度和接受度不够等问题, 也可能会导致智慧农业和农业经济增长之间互相呈反作用力。因此, 两者的发展是紧密联系在一起的, 积极探索两者间的动态关系, 实现未来农业经济稳增长对于端牢中国人自己的饭碗具有重要意义, 本文旨在通过理论和实证分析, 探索中国省际面板数据背景下, 智慧农业对农业经济增长所绽放的动态影响力, 为促进两者的发展提供建设性意见。

## 2. 文献回顾

近年来关于智慧农业的概念被反复提及, 智慧农业与农业经济的增长也是一众学者的研究热点, 国

内外学者对此都进行了不同程度的研究。国外研究多从含括在智慧农业中的技术手段入手探讨其与农业经济的关系,最早可追溯到上个世纪八十年代的美国,往后慢慢发展传入其他国家。首先谈到的是利用导航技术提高生产力推动农业发展进入自动和信息化时代,需要一个自然的进程[1],往后涌现出大量创新性想法,其中包含了“农业智慧产业”等[2],此阶段国外研究多从科技手段出发,通过提出涉生物传感器技术、数据挖掘、大数据可视化等技术在农业发展中的实践应用及成效,针对智慧农业处于新兴阶段的安全性问题进行了回顾和未来展望[3][4][5]。步入科技时代,新一代的信息技术在促进智慧农业发展的进程中承担了更加重要的角色,理论研究也更加丰富。Su Y [6]等从农业经济管理的角度出发,使用数据挖掘等方法研究发现农业大数据为农业经济管理创新提供了强有力的数据支持,促进了智慧农业的建设。Lin F [7]等通过设计一种基于遥感图像和机器学习的温室系统减少了产量损失,对于促进我国农业经济增长有重要作用。Gzar D A [8]从物联网技术角度出发,回顾了其在智慧农业发展中的贡献发现基于农业的物联网体系提高了农作物的生物效率。Wakchaure M [9]等回顾了农业中的各类人工智能技术,揭示了人工智能技术和机器人对农部门的贡献,并利用数据和图表比较了不同方法的使用频率。

国内现有研究成果主要表现为以下三个方面:一是智慧农业发展现状,智慧农业在提高农业经济效益上已经取得了一些成果,但从整体层面来看仍存在诸多缺陷,不利于智慧农业经济发展[10]。但发展智慧农业是推动农业现代化的重要途径,我国现阶段对于智慧农业的探索尚浅并面临多种困境[11]。洪师等[12]基于文献计量方法、可视化等对知网中智慧农业相关文献梳理得到国内对智慧农业的研究整体上处于上升趋势,智慧农业发展的支撑体系逐渐形成,研究重心与智慧农业发展的支撑领域相匹配。吴娜琳等[13]利用结构方程模型探究涉农人员对智慧农业建设的支持意愿发现:涉农人员对智慧农业了解程度越深,信息获取力越强,对当地农业发展现状越满意。二是智慧农业的测度方法。张滨丽等[14]采用层次分析法,从三个不同的效益层面构建了包含12个指标的智慧农业评价体系,评估发现黑龙江智慧农业的应用,提高了农村收入。耿鹏鹏等[15]运用灰关联法、熵权TOPSIS模型测算了广西的智慧农业发展状态得到:研究期内广西的智慧农业发展状态水平有所提高但增速放缓,发展情况较差,亟待改善。尹娟等[16]基于投入产出模型,从投入角度提出一种智慧农业发展水平的测度方法,依托于包含我国在内的相关国数据研究发现,不论是发展质量还是速度,智慧农业在不同经济体之间的发展都呈现显著差异,我国智慧农业发展水平在中等收入经济体行列处领先地位。三是智慧农业发展带来的影响。丁孟春[17]通过整理吉林省农业信息化的时间序列数据并采用波拉特法进行测算后并使用修正后的C-D函数模型实证分析,认为每增加1单位的省农业信息部门产值相应的省农业总产值会增加0.8单位。毛宇飞[18]等利用省级面板数据构建了包含互联网、人力资本变量的C-D函数模型实证得到互联网普及率、农村人力资本对于农业经济的增长有显著的促进作用。林海英等[19]以内蒙古为研究对象,搜集时间序列数据通过综合指数法对农业信息化水平测度研究显示农林牧渔生产总产值与内蒙古农业信息化水平之间存在长期稳定关系。黄浩等[20]以我国1999~2017年的数据为样本,以农业生产性服务业和农业经济增长为变量建立起VAR模型进行实证研究,结果表明两者之间呈双向互动、互为增长。曹淑芹等[21]以河北省的智慧农业与农产品出口贸易为研究对象构建回归模型实证得到智慧农业对农产品出口贸易产生了正向影响,促进了农业经济增长。王克响等[22]采用农业产值相关的省级面板数据构建空间加量模型研究发现农业经济增长具有较强的正向空间相关性和空间聚集性,互联网技术效应对农业经济增长的促进作用最为显著。薛庆根等[23]以中国地级市的面板数据为样本构建了多期双重差分模型实证分析发现农业科技园区的建设能促进地区农业经济增长提高3.9%。

虽已有文献对于智慧农业与农业经济增长的关系研究,基本夯实变量间的关系,但仍存在部分局限。

- 1) 以往研究多停留在智慧农业实践与发展趋势探讨,而对其与农业经济增长量化关系的实证分析却不甚充裕;
- 2) 中国的区域发展存在显著的梯度性,南北农业生态环境、社会经济发展速度等因素存在差异,

导致智慧农业在各省的进展程度和影响力也有所不一, 现有文献在区域异质性研究上存在局限; 3) 智慧农业与农业经济增长并非单向因果关系, 关于智慧农业和农业经济增长间的动态交互影响研究较少。综上, 本文将基于 2010~2019 年全国 30 个省(市)的省级面板数据, 构建智慧农业的评价体系, 并以智慧农业、农业经济增长为变量采用面板向量自回归模型实证分析二者间的动态关系及影响程度, 以期为未来智慧农业发展提供建议。

### 3. 研究设计

#### 3.1. 面板向量自回归模型的构建

目前, 关于智慧农业和农业经济增长关系的研究, 多是从智慧农业的细分领域, 像物联网、机器学习在农业中的应用为角度探究其对农业经济的影响, 缺乏对变量影响的时滞效应研究。已有文献基本采用统计分析、计量经济分析方法, 为了让变量间的持续动态影响直观化, 本文将结合研究目标和数据特点构建关于智慧农业与农业经济增长的面板向量自回归(PVAR)模型进行研究, PVAR 模型最早由 Holtz-Eakin [24]提出, 该模型不仅能够参考每个个体的差异, 在引入变量滞后项后也可有效解决内生性问题, 允许变量内生并反映多个变量间的动态影响关系[25]。文章具体模型如下:

$$Y_{it} = \delta_0 + \sum_{j=1}^p \delta_j Y_{i,t-j} + \zeta_i + \eta_t + \mu_{it} \quad (1)$$

在式(1)中,  $i$  表示各省级地区,  $t$  表示时间, 其中  $Y_{it}$  表示智慧农业与农业经济增长两个内生变量的列向量,  $\delta_0$  为截距项,  $p$  为滞后阶数,  $\delta_j$  为滞后阶数的参数矩阵,  $\zeta_i$ 、 $\eta_t$ 、 $\mu_{it}$  分别代表个体、时间效应和随机扰动项。采用 STATA15.0 统计软件展开面板数据的实证分析, 并使用统计折线图、脉冲响应、方差分解等分析结果。

#### 3.2. 变量测度与数据来源

##### 3.2.1. 智慧农业

智慧农业是指将物联网等技术运用到传统农业中, 运用传感器和软件等通过移动平台对农业生产进行控制, 使传统农业更有“智慧”。农业的“智慧化”, 能推动农业信息化、农业物联网等多领域的发展, 提高农业生产效率, 促进农业经济增长。构建科学合理的智慧农业发展水平评价体系对于后续实证过程与研究结果有重要影响, 同时考虑到智慧农业体系的复杂多面性, 在选取指标时应该考虑到以下原则: 一是全面性, 智慧农业不能依靠单一数据来表示, 须考虑到微观和宏观层面的数据才能使实证结果具有说服力。二是数据的可获取性, 数据获取的难易程度同样影响着实证过程的进行, 合理有效的数据方能求证科学的结果。三是科学性, 指标选取必须紧扣研究主题, 指标划分的合理性, 科学的数据来源同样是实证结果可行与否的重要保证。现有文献利用评价指标体系评估智慧农业发展水平一般根据其具体形态、应用程度等筛选合适指标并建立体系, 通过因子分析、熵权法等确定各项指标权重, 最后根据原始数据和权重得到综合得分以此表征智慧农业发展水平。基于文献综述中关于测度智慧农业的研究成果, 参考张滨丽[14]和耿鹏鹏[15]的智慧农业发展水平评价指标体系, 并结合现实: 农业网络发展状况是智慧农业发展的基础; 发展环境是与智农发展联系起来的相关社会指标, 大环境是智农发展的重要保障; 农业科技创新能力是其发展的重要推进力量, 智慧农业的发展是以科技创新为前提的, 只有科技水平进步了, 才能不断输出新的科技成果到农业生产环节中, 提高生产效率; 关于互联网运营状况, 智慧农业所有的运行系统都离不开互联网, 以互联网为基础的现代信息技术发展影响着其发展状态; 智慧农业人才培养基础是支撑其持续发展的中坚力量, 技术创新、系统开发、设施应用等都需要人才的投入支持。从农业网络发展、互联网运营、科技创新等方面构建见表 1 所示包含 5 个一级指标, 18 个二级指标的智

智慧农业发展水平评价指标体系。考虑到指标体系中涉及的数据多样复杂,且单位不一,本文首先对二级指标进行无量纲化处理,采用的是极值处理法,通过熵值法确定各个指标的权重并计算各省智慧农业的综合得分,以此表征智慧农业发展水平,并记为 INTA。

**Table 1.** Evaluation indicator system for the development level of intelligent agriculture

**表 1.** 智慧农业发展水平评价指标体系

一级指标	二级指标	单位	权重
农业网络发展状况	农村居民人均纯收入实际数	元/人	0.0315
	农业总产值占地区 GDP 比重	%	0.0303
	农作物总播种面积	千公顷	0.0418
	农田有效灌溉面积	千公顷	0.0518
	地方财政农林水事务支出占一般预算支出比重	%	0.0179
智慧农业发展环境水平	农业机械总动力	万千瓦	0.0565
	地区 GDP 占全国 GDP 的比重	%	0.0503
农业科技创新能力	规模以上高技术产业企业研发机构数	个	0.1799
	地方财政科学技术支出占一般预算支出比重	%	0.0510
	专利申请授权数	件	0.1142
	发表科技论文	篇	0.1099
互联网运营状况	互联网普及率	%	0.0485
	研究与试验发展(R&D)经费投入强度	%	0.0177
	农村居民平均每百户计算机持有量	台/百户	0.0307
	接入互联网宽带业务的行政村比重	%	0.0068
智慧农业人才培养基础	地方财政教育支出占一般预算支出比重	%	0.0136
	科学普及参加人数	万人次	0.1237
	区域创新文化氛围(高校总数)	所	0.0239

### 3.2.2. 农业经济增长

经济增长通常是指一国或一个区域在一定时期内的产量或收入水平的增加,从狭义上来说农业经济增长即农林牧渔业总产值的增长,它能反映一定时期内农林牧渔业生产总规模和总成果。参考已有文献对于农业经济增长的测度,本文选取第一产业增加值占地区生产总值比重代表农业经济增长,并记为 AGDP。第一产业泛指各类农业原始产品,其增加值占地区生产总值的比重能够直观的体现农业经济的增长。

### 3.2.3. 数据来源

基于数据的可得性,本文选取了中国 30 个省域(除港澳台外)2010~2019 年的面板数据(西藏部分数据缺失,故剔除)作为研究样本构建计量模型探究智慧农业和农业经济增长之间的动态关系。选取的数据来

源于国家统计局公布的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国第三产业统计年鉴》以及《中国科技统计年鉴》，采用线性插值法对少量缺失值进行填充，变量的描述性统计见表 2 所示。

**Table 2.** Descriptive statistics for variables

**表 2.** 变量的描述性统计

变量	指标	样本	均值	标准差	最小值	最大值
农业经济增长	AGDP	300	9.87	2.179962	0.3	26.3
智慧农业	INTA	300	0.1871478	0.0936454	0.0312765	0.5594653

## 4. 实证分析

### 4.1. 智慧农业的综合评价

通过熵值法综合测算 2010~2019 年 10 年间各省市的智慧农业发展水平综合得分，见表 3 所示，并依据经济发展水平差异划分的四大地区来比较智慧农业的发展水平。对比得分表发现，东部地区的平均得分位于前列，以 2019 年的数据为例。广东省以 0.559 分领跑全国，是智慧农业发展最好的地区，紧随其后的是北京、江苏地区，得分均在 0.45 左右，属于智慧农业发展的高水平地区，随即是浙江、山东，得分分别为 0.341、0.343，是全国智慧农业发展较好的地区，东部地区的其他省市得分在 0~0.3 之间，最低的是海南省。东部地区的智慧农业发展是全国的核心地带，横向时序对比也能发现，虽部分地区得分不高，但整体发展呈增长趋势，且增速可观。

**Table 3.** Composite score table of INTA development levels by province and municipality

**表 3.** 各省市智慧农业发展水平综合得分表

地区	省份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
东北	黑龙江	0.173	0.181	0.198	0.211	0.213	0.219	0.227	0.237	0.233	0.238
	吉林	0.119	0.121	0.132	0.132	0.131	0.137	0.140	0.143	0.141	0.146
	辽宁	0.144	0.152	0.157	0.159	0.160	0.156	0.158	0.158	0.153	0.159
东部	北京	0.294	0.286	0.351	0.304	0.395	0.400	0.392	0.395	0.415	0.473
	天津	0.110	0.122	0.128	0.138	0.136	0.142	0.140	0.140	0.140	0.145
	河北	0.215	0.223	0.226	0.230	0.233	0.235	0.227	0.232	0.229	0.240
	上海	0.174	0.177	0.218	0.192	0.193	0.192	0.201	0.212	0.211	0.224
	江苏	0.300	0.344	0.408	0.411	0.415	0.430	0.443	0.442	0.451	0.450
	浙江	0.213	0.235	0.264	0.267	0.270	0.286	0.290	0.290	0.308	0.341
	福建	0.131	0.138	0.147	0.153	0.157	0.166	0.164	0.169	0.181	0.185
	山东	0.285	0.300	0.313	0.328	0.330	0.340	0.326	0.330	0.331	0.343
	广东	0.253	0.264	0.310	0.291	0.291	0.335	0.397	0.457	0.536	0.559
	海南	0.068	0.067	0.075	0.075	0.075	0.076	0.078	0.077	0.076	0.086

## Continued

中部	山西	0.112	0.115	0.125	0.133	0.130	0.126	0.122	0.124	0.125	0.125
	安徽	0.177	0.192	0.203	0.218	0.224	0.234	0.258	0.260	0.270	0.278
	江西	0.121	0.127	0.144	0.134	0.139	0.149	0.155	0.168	0.182	0.196
	河南	0.248	0.254	0.260	0.265	0.269	0.274	0.270	0.281	0.288	0.296
	湖北	0.173	0.181	0.188	0.198	0.209	0.214	0.220	0.230	0.243	0.270
	湖南	0.161	0.166	0.176	0.186	0.190	0.196	0.199	0.204	0.217	0.228
西部	内蒙古	0.119	0.124	0.125	0.130	0.133	0.142	0.143	0.151	0.150	0.153
	广西	0.122	0.129	0.138	0.141	0.145	0.147	0.145	0.151	0.150	0.158
	重庆	0.087	0.089	0.098	0.104	0.105	0.114	0.123	0.131	0.136	0.138
	四川	0.159	0.169	0.185	0.190	0.196	0.205	0.211	0.215	0.229	0.236
	贵州	0.091	0.089	0.098	0.102	0.112	0.123	0.128	0.134	0.139	0.147
	云南	0.108	0.113	0.121	0.124	0.127	0.133	0.139	0.141	0.145	0.152
	陕西	0.131	0.137	0.142	0.149	0.150	0.155	0.164	0.172	0.161	0.161
	甘肃	0.097	0.096	0.103	0.106	0.108	0.118	0.116	0.119	0.125	0.130
	青海	0.031	0.040	0.044	0.043	0.050	0.050	0.055	0.058	0.060	0.062
	宁夏	0.068	0.069	0.069	0.072	0.075	0.078	0.081	0.087	0.093	0.095
新疆	0.136	0.135	0.140	0.153	0.157	0.164	0.169	0.161	0.163	0.167	
全国	平均值	0.154	0.161	0.176	0.178	0.184	0.191	0.196	0.202	0.209	0.219

中部地区的智慧农业发展仅次于东部地区, 整体得分在 0.1~0.3 之间, 其中 2019 年河南以 0.296 居于第一, 是中部六省中智慧农业发展最好的地区, 总体而言, 中部地区的智慧农业发展在全国处于中等水平地区, 是推进智慧农业建设的中坚力量, 横向时序对比发现, 中部地区整体发展较缓慢但呈增加趋势。在东北地区, 黑龙江、吉林和辽宁的智慧农业得分同样处在 0.1~0.3 之间, 但总体低于中部地区, 属于智慧农业发展低水平地区, 东三省的智慧农业发展整体虽呈积极趋势, 但增速过于缓慢, 辽宁在 2014~2018 年间甚至出现了发展倒退现象。

西部地区的智慧农业发展水平在全国处于末端, 整体得分除四川外集中在 0.1~0.2 之间, 四川的智慧农业发展水平在 2010~2019 年间从 0.159 增长至 0.236, 增加了 148%, 是西部地区智慧农业发展最为强劲的省市。西部地区总体呈一家独大趋势, 除四川外其他省市智慧农业发展相对滞后, 整体发展水平较低, 横向时序对比来看, 四川、广西、陕西和云南稳步攀升, 增速对比其余地区稍快。总体而言西部地区智慧农业发展水平较低, 增长偏缓, 进步不明显。

通过分析智慧农业发展水平综合折线图以及得分表, 综合评价智慧农业的发展状况, 见图 1 和表 3 所示。同样以 2019 年数据为例, 从全国来看, 各地区发展水平从高到低依次为东部、中部、东北、西部, 其中东部地区在 2010~2019 年间由 0.204 增长至 0.305, 增速最快。东部地区是智慧农业发展水平最好的地区, 作为沿海经济带, 东部城市拥有得天独厚的区位优势, 具备充足的人力资源和经济支持, 能同时

吸收国内外的新兴农业技术和新颖治农理念, 因此其发展水平处全国前端。分析时序动态变化发现东北、西部地区整体发展水平较低、波动幅度不大、增速缓慢, 颇有滚芥投针之势。而这些地区坐拥丰富土地优势, 在大数据、物联网等技术的潮流下应审时度势, 因地制宜。紧跟科技发展的脚步, 大力引进智农人才、创新智农技术、丰富智农概念, 制定科学可行的智慧农业发展战略, 推进智慧农业发展。

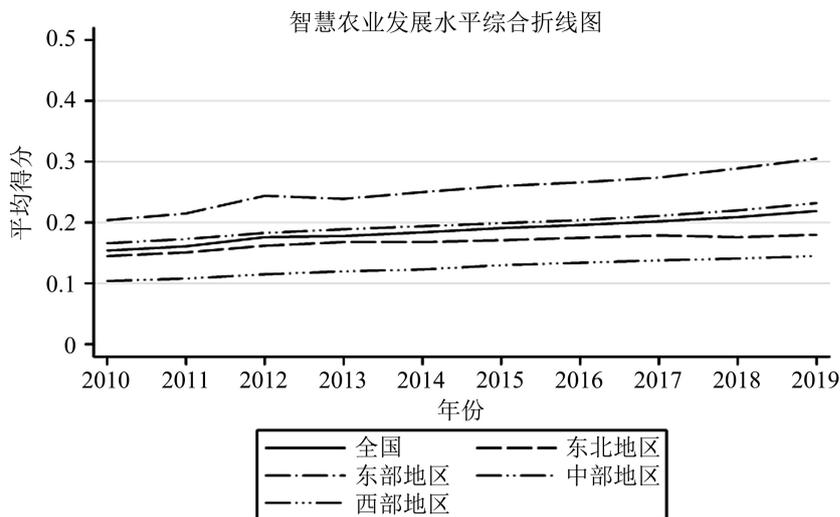


Figure 1. Comprehensive line chart of INTA's level of development  
图 1. 智慧农业发展水平综合折线图

## 4.2. 智慧农业与农业经济增长动态关系

### 4.2.1. 面板数据的平稳性检验

模型确立之前, 须对其平稳性做单位根检验, 如果是非平稳的面板数据, 可能会产生伪回归。长面板数据的稳定性检验方法多样, 本文采用 IPS 和 LLC 两种检验方式, 分别进行异质单位根、同质单位根的检验, 见表 4 所示结果。

Table 4. Unit root test results  
表 4. 单位根检验结果

检验方法	AGDP	INTA	D_AGDP	D_INTA
IPS	0.2806	-0.4237	-1.8743**	-3.7092***
	(0.6105)	(0.3359)	(0.0304)	(0.0001)
LLC	-5.9889***	-8.6989***	-9.8742***	-13.0173***
	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)

注: 括号内为相应的 p 值, \*, \*\*和\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%的水平下显著, D 表示一阶差分序列。

### 4.2.2. 最优滞后阶数的确定

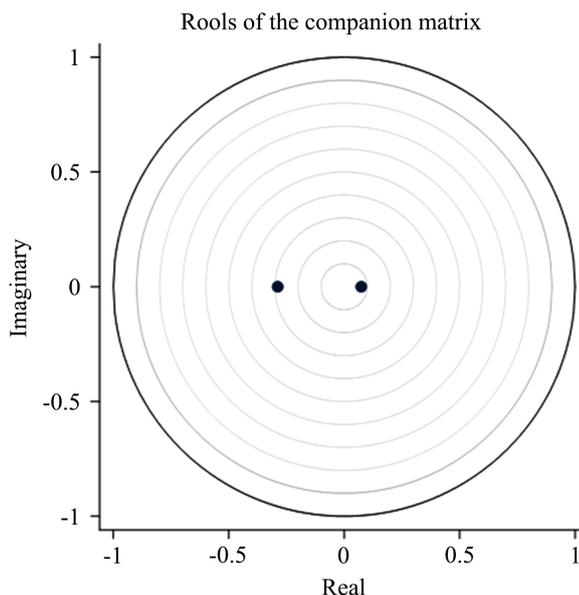
PVAR 模型的构建、估计与最优滞后阶数的确定密不可分, 本文以 MBIC、MAIC、MQIC 准则作为选择标准, 通常认为每个准则对应的最小值作为评价标准的最优滞后阶, 检验结果见表 5 所示, 可以看出, MBIC、MQIC 最小值所处的阶次都是滞后一阶, 所以将最优滞后阶数定为 1 阶。

**Table 5.** Lag test results  
**表 5.** 滞后期检验结果

lag	CD	J	J pvalue	MBIC	MAIC	MQIC
1	0.6484422	11.20783	0.5111968	-46.24207*	-12.79217	-26.37633*
2	0.7242987	2.93586	0.9383179	-35.36407	-13.06414*	-22.12025
3	-1.697157	0.2499714	0.9928106	-18.9	-7.750029	-12.27808

#### 4.2.3. 模型的稳定性检验

PVAR 模型的稳定性是进行后续分析的前提, 对智慧农业、农业经济增长模型进行稳定性检验, 通常以模型所有特征根均处于单位圆内, 即数值都小于 1 时, 认为模型总体稳定, 见图 2 所示结果可知, 特征根都处在圆内, 面板向量自回归模型稳定。

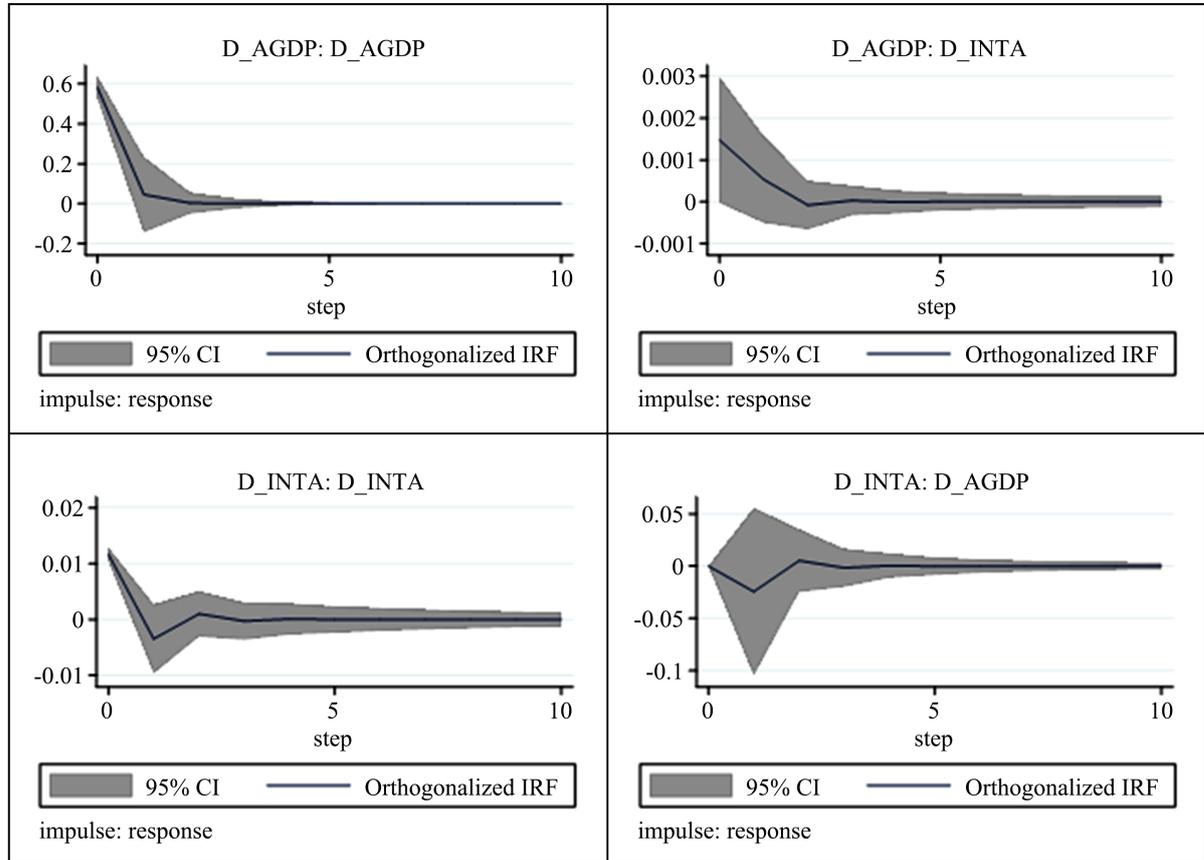


**Figure 2.** Stability test of the model  
**图 2.** 模型的稳定性检验

#### 4.2.4. 脉冲响应分析

具体而言, 脉冲响应函数是指面板向量自回归模型中某个变量受到外生冲击时对其他变量的影响, 脉冲响应函数能够直观的反映内生变量间的动态交互作用, 有助于分析变量之间的时滞作用[26]。文章通过 200 次蒙特卡罗(Monte-Carlo)模拟, 分别得到变量滞后 10 个周期的脉冲响应图, 集中分析智慧农业和农业经济增长受到不同变量冲击后的响应, 响应结果见图 3 所示。根据图示结果分析, 智慧农业和农业经济增长在受到不同变量一个单位标准差冲击之后作出的响应有所不同。首先, 对于农业经济增长, 在受到自身冲击时, 当期会达到正向最大值, 随后呈现下降趋势, 这种影响在第 5 期左右下降至 0 后趋于稳定, 说明初期农业经济的增长对自身有显著的正向效应, 长期体现为农业经济增长的自我促进作用; 在受到智慧农业的冲击时, 农业经济增长在 0~1 期从 0 值下降到最小值, 随后在 1~2 期缓慢上升达到最大值, 小幅波动达到 0 值后趋于稳定, 说明智慧农业在初期对农业经济增长产生了负向效应, 达到最低点以后才体现出并不显著的正向效应。从长期来看智慧农业的出现引起了广泛关注, 聚集了大量农业人

才和智农技术, 但由于缺乏农业实践、智农概念模糊和技术细则不够成熟等问题, 导致智慧农业的投入产出不成正比, 经过一段时间的沉淀和技术的打磨, 智慧农业发展步入正轨, 但是对于农业经济增长的促进作用仍不明显。



**Figure 3.** Impulse response function distribution  
**图 3.** 脉冲响应函数分布

其次, 对于智慧农业, 在受到自身冲击时, 当期会达到正向最大值, 随后呈现出持续下降趋势, 衰减到负值后负向效应会逐渐减小直至最小值, 然后在一种不显著的正向效应作用下上升至最大值, 而后趋于稳定。说明智慧农业的发展对自身具有显著的正向效应, 持续的时间也较长, 体现了加快推进智慧农业发展的重要性; 在受到农业经济增长的冲击时, 当期会达到最大值, 随后缓慢衰减至 0, 小幅波动之后趋于稳定。长期体现在农业经济的增长对智慧农业的发展有正向促进作用, 现实中, 农业经济的增长为智农发展注入了强大的活力, 提供了强大的经济支撑, 营造了启发性的农创环境等, 是智慧农业发展道路上强有力的保障。

#### 4.2.5. 方差分解分析

变量的方差分解结果见表 6 所示, 分析发现: 对于农业经济增长, 在第 1 期智慧农业对于农业经济增长作用并不明显, 其自身的作用比较明显, 随着时间的推移, 到第 5 期, 农业经济增长本身贡献度为 99.8%, 智慧农业对其贡献度为 0.2%, 随后两者趋于稳定; 对于智慧农业, 初期农业经济增长对其贡献度较弱, 长期来看, 智慧农业自身的贡献度为 98.4%, 农业经济增长对其贡献度为 1.6%。

**Table 6.** Variance decomposition table  
**表 6.** 方差分解表

	期数	AGDP	INTA
AGDP 的方差分解	1	1	0
	5	0.998	0.002
	10	0.998	0.002
INTA 的方差分解	1	0.015	0.985
	5	0.016	0.984
	10	0.016	0.984

## 5. 结论及建议

本文以智慧农业与农业经济增长之间的动态关系为研究对象,选取了全国 30 个省(市) 2010~2019 年的面板数据,首先运用熵值法得出不同地区智慧农业发展综合得分,采用统计分析方法对其综合评价,其次通过构建面板向量自回归模型,采用稳定性检验、脉冲响应和方差分解分析计量分析方法,实证研究智慧农业与农业经济增长之间的动态影响关系,结果得到: 1) 对比我国不同地区智慧农业发展水平综合得分知道,东部地区得分最高,西部地区得分最低。2) 在 2010~2019 年间,智慧农业发展水平总体呈缓慢上升趋势,但不同地区的上升幅度存在差异。3) 智慧农业与农业经济增长之间存在相互作用力,农业经济的持续增长对智农发展起到了重要的推进作用,是智慧农业持续健康发展的中坚力量。智农发展初期对农业经济的增长产生了负向影响,该影响随着时间推移会由负转正对经济增长产生不显著的正向效应。4) 方差分解中,智慧农业和农业经济增长相互之间的贡献程度较小,农业经济增长对于智慧农业发展的贡献度在后期稳定在 1.6%,优于智慧农业对农业经济增长的贡献度。

经过对上述结论的思考,本文对如何促进变量之间的互动发展,提高发展质量提出了以下政策建议: 第一,健全农业政策,加强扶持力度。智慧农业的建设并非一蹴而就,需要各种力量综合持续投入,针对我国不同地区智慧农业发展水平差异化的现象,不同地区应立足本土,因地制宜,利用好地区优势,整合资源益处,健全智慧农业发展政策,实施农业可持续发展战略,同时瞄准智慧农业建设目标,营造良好的发展环境,最大限度地发挥财政资金的引导作用,整合社会资源协同推进智慧农业建设。第二,强化智慧农业基础建设。充分发挥智慧农业技术的应用价值,必须重视基础建设,加强相关工作。农村网络的有效覆盖是信息科技在农业诸多层面广泛应用的前提,要加快推进农村信息化进程,按照求实效、重服务、广覆盖、多模式的原则,整合农村资源,搭建信息平台,完善农村信息服务体系。同时,大力推进农村商业信息服务等配套项目的建设,积极探索信息服务进村入户的方式方法。第三,重视农业科技创新,完善科研体系。政府部门应与农业、计算机技术等专业性强的高校联合发展,从促进农业生产的角度分析不同技术的应用方向,开辟更多智慧农业技术手段,促进农业生产设施设备的精密化发展。政府部门也要加大对科研的投入,引导更多农牧领域的研究人员开展自主创新,增强农机装备的适应性,降低应用成本。第四,加强智慧农业专门人才培养。智慧农业技术的专业人才培养,是其发展壮大核心内容。但是,受时代发展的限制,许多省份和城市的乡村都缺少与智慧农业技术相匹配的高质量人才。对此,政府部门应优化人力资源配置,进行大规模的智慧农业人才培养工作,具体可与高校、企业多面合作,建立起完整的人才培养机制,扩大专业人才储备总量。要做好长期攻坚的准备,科学统筹规划智慧农业发展,建立长效教育机制,使其在将来仍然具有强大的活力,能够进行自我更新和迭代。

## 参考文献

- [1] Reid, J.F. (2000) Establishing Automated Vehicle Navigation as a Reality for Production Agriculture. *IFAC Proceedings Volumes*, **33**, 31-38. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)36747-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36747-2)
- [2] Velasco-Garcia, M.N. and Mottram, T. (2003) Biosensor Technology Addressing Agricultural Problems. *Biosystems Engineering*, **84**, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00236-2](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00236-2)
- [3] Wang, H.H., Wang, Y. and Delgado, M.S. (2014) The Transition to Modern Agriculture: Contract Farming in Developing Economies. *American Journal of Agricultural Economics*, **96**, 1257-1271. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau036>
- [4] Issad, H.A., Aoudjit, R. and Rodrigues, J. (2019) A Comprehensive Review of Data Mining Techniques in Smart Agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, **12**, 511-525. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.11.003>
- [5] Dearaujozanella, A.R., Da Silva, E. and Albinl, L.C.P. (2020) Security Challenges to Smart Agriculture: Current State, Key Issues, and Future Directions. *Array*, **8**, Article ID: 100048. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>
- [6] Su, Y. and Wang, X. (2021) Innovation of Agricultural Economic Management in the Process of Constructing Smart Agriculture by Big Data. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, **31**, Article ID: 100579. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100579>
- [7] Lin, F., Weng, Y. and Chen, H. (2021) Intelligent Greenhouse System Based on Remote Sensing Images and Machine Learning Promotes the Efficiency of Agricultural Economic Growth. *Environmental Technology & Innovation*, **24**, Article ID: 101758. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101758>
- [8] Gzar, D.A., Mahmood, A.M. and Al-Adilee, M.K.A. (2022) Recent Trends of Smart Agricultural Systems Based on Internet of Things Technology: A Survey. *Computers and Electrical Engineering*, **104**, Article ID: 108453. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108453>
- [9] Wakchaure, M., Patle, B.K. and Mahindrakar, A.K. (2023) Application of AI Techniques and Robotics in Agriculture: A Review. *Artificial Intelligence in the Life Sciences*, **2023**, Article ID: 100057. <https://doi.org/10.1016/j.aills.2023.100057>
- [10] 李启秀. 智慧农业经济发展现状及问题战略分析[J]. 农村经济与科技, 2021, 32(8): 283-285.
- [11] 殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 高雨晨. 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.
- [12] 洪帅, 王天尊, 符晓艺. 中国智慧农业研究演进脉络梳理及前沿趋势分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(4): 28-38.
- [13] 吴娜琳, 张娣, 李二玲, 李小建. 涉农人员对智慧农业建设的支持意愿及影响因素研究——以新疆察布查尔锡伯自治县为例[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(5): 845-854.
- [14] 张滨丽, 卞兴超. 基于 AHP 的黑龙江省智慧农业综合效益评估[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(2): 109-115.
- [15] 耿鹏鹏, 杜文忠. 基于“智慧”过程模型的广西智慧农业发展状态测度分析[J]. 科技管理研究, 2020, 40(19): 94-102.
- [16] 尹娟, 杨忠, 郭进. 智慧农业发展水平的测度与国际比较: 基于投入-产出模型的理论及实证研究[J]. 金陵科技学院学报(社会科学版), 2022, 36(3): 22-30.
- [17] 丁孟春, 刘宣宣, 姜会明. 吉林省农业信息化对农业经济增长贡献的实证研究[J]. 情报科学, 2016, 34(11): 97-100+121.
- [18] 毛宇飞, 李焯. 互联网与人力资本: 现代农业经济增长的新引擎——基于我国省际面板数据的实证研究[J]. 农村经济, 2016(6): 113-118.
- [19] 林海英, 李文龙, 赵元凤. 基于农业科技创新视角的农业信息化水平与农业经济增长关系研究[J]. 科学管理研究, 2018, 36(2): 80-83.
- [20] 黄浩, 石研研. 我国农业生产性服务业与农业经济增长的实证研究——基于 VAR 模型的计量分析[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(10): 217-221+231.
- [21] 曹淑芹, 朱保芹, 岳敏. 智慧农业背景下河北省农产品出口贸易发展研究[J]. 衡水学院学报, 2021, 23(4): 56-61.
- [22] 王克响, 万吉雨, 张霞等. 技术进步、生产规模与农业经济增长——基于空间计量模型的实证研究[J]. 山东农业科学, 2021, 53(7): 150-156.
- [23] 薛庆根, 朱瑾. 国家农业科技园区对区域农业经济增长的影响研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(6): 215-222.
- [24] Holtz-Eakin, D., Newey, W. and Rosen, H.S. (1988) Estimating Vector Autoregressions with Panel Data. *Econometrica*, **56**, 1371-1395. <https://doi.org/10.2307/1913103>
- [25] 赖启福, 李虎峰, 李春硕, 等. 农村劳动力要素配置、农业农村现代化与农村经济发展——基于省际面板数据的

PVAR 分析[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(2): 203-212.

- [26] 陈怀超, 田晓煜, 范建红. 数字经济、人才数字素养与制造业结构升级的互动关系——基于省级面板数据的 PVAR 分析[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(19): 49-58.