数字技术驱动农业经济韧性提升的多元路径

代 辛, 韩 睿, 姜小鱼, 李 众*

(中国农业科学院农业信息研究所,北京 100080,中国)

摘 要: [**目的/意义**]提升农业经济韧性是保障粮食安全和实现农业现代化的关键。针对当前数字技术赋能存在的区域异质性和要素不协同的现实问题,本研究突破传统线性分析框架,基于组态视角系统揭示数字技术如何通过多维要素的协同互动驱动农业经济韧性提升,旨在为不同地区制定差异化的数字农业政策提供理论依据。[**方法**]结合技术-组织-环境理论构建了数字技术与农业经济韧性的理论分析框架,基于2011—2023年中国省级面板数据,采用动态定性比较分析方法进行了实证分析。通过必要性检验与组态路径识别,系统考察了数字技术对农业经济韧性的协同驱动效应,并进行了时空异质性分析与稳健性检验。[**结果和讨论**](1)单一数字技术要素无法成为高农业经济韧性的必要条件,必须依赖多维要素的协同配置。(2)识别出了5条数字技术有效驱动农业经济韧性提升的路径,可归纳为政策市场双驱型、生产链赋能型和协同驱动型3种模式,反映了不同条件组合的等效性。(3)组态路径具有显著的时空异质性,在时间维度上,部分路径效应随技术渗透而动态演变;在空间维度上,东部、中部、西部地区,以及不同粮食功能区因其资源禀赋不同,分别适配不同主导路径。[**结论**]本研究证实了农业经济韧性提升不存在单一最优路径,关键在于区域选择适配自身条件的要素组态并进行动态优化。研究为理解数字技术驱动农业经济韧性的多元机制提供了经验证据,对推动分类施策、实现数字农业高质量发展具有现实指导意义。

关键词: 数字技术;农业经济韧性;动态定性比较分析;时间效应;空间效应;技术-组织-环境框架

中图分类号: F303.2;F320.1;[S-9] **文献标识码:** A **文章编号:** SA202602018

引用格式:代辛, 韩睿, 姜小鱼, 李众. 数字技术驱动农业经济韧性提升的多元路径[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(3): 190-202. DOI: 10.12133/j.smartag.SA202602018

DAI Xin, HAN Rui, JIANG Xiaoyu, LI Zhong. Multiple Pathways of Digital Technology Driving the Enhancement of Agricultural Economic Resilience[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(3): 190-202. DOI: 10.12133/j.smartag.SA202602018 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

党的二十大报告中首次明确提出“加快建设农业强国”的战略目标。2023年,《中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》进一步明确了“建设供给保障强、科技装备强、经营体系强、产业韧性强、竞争能力强的农业强国”[1]。2026年,《中共中央 国务院关于锚定农业农村现代化 扎实推进乡村全面振兴的意见》再次明确,“要加快补上农业农村领域突出短板,加快建设农业强国”。从现实来看,中国农业发展虽取得显著成效,但在面临自然灾害、地缘冲突及突发公共安全事件等多重冲击时,仍表现出较强的脆弱性,这一短板在一定程度上制约了农业强国建设目标的实现[2]。在此背景下,降低农业的脆弱性同时增强农业在面对外部多重冲击时的稳定性和恢复能力,从而综合提升农业经济韧性,是当前中国加快农业强国建设亟待解决的重要问题。

随着中国科技的发展,数字技术已经成为农村传统要素变革以及农业新质生产力发展的重要动力,深刻改变着农业的生产方式和经营方式,为农

收稿日期:2026-02-11

基金项目:中国农业科学院基本科研业务费专项(JBYW-AII-2026-16,JBYW-AII-2026-74);国家重点研发计划项目(2022YFD2001305)

作者简介:1. 代 辛,博士,副研究员,研究方向为农业农村发展理论与政策。E-mail:daixin@caas.cn;2. 韩 睿,博士,助理研究员,研究方向为气候经济与粮食安全。E-mail:hanrui01@caas.cn;代辛、韩睿为并列第一作者

*通信作者:李 众,博士,助理研究员,研究方向为国际农业合作。E-mail:lizhong@caas.cn

copyright©2026 by the authors

业经济韧性的提升开辟了新的路径[3]。近年来，政府也高度重视农业数字化转型，出台《数字农业农村发展规划（2019—2025年）》《全国智慧农业行动计划（2024—2028年）》等系列重大战略文件推动智慧农业与数字乡村建设，旨在构建更具韧性的农业现代化体系。一方面，数字技术可以通过提升农业生产效率与风险监测能力，增加农业系统灾后恢复能力[4]；另一方面，数字技术还可以通过降低交易成本和提升市场连通性等多种机制，增强农业系统的抗扰动能力[5]。因此，如何有效利用数字技术驱动农业经济韧性的提升，成为近年来政府、学者和社会各界关注的重点。

当前，学术界在探讨数字技术与农业高质量发展过程中，除关注数字技术对农业生产效率[6]和农民收入[7]等影响外，也逐步将研究视角拓展至农业经济韧性。农业经济韧性在早期主要关注农业系统在外部冲击后恢复至原有均衡状态的能力[8]，而现有研究则更倾向于将其视为复杂适应系统，强调在冲击下通过学习、适应与结构转型实现优化与创新的能力[9]。在农业经济韧性测度方法上，现有研究形成了两类主流范式，即以核心经济指标变化为基础、便于开展时空比较的核心变量法[1]，以及基于抵抗力、适应力与转型能力等多维要素构建综合评价体系的指标体系法[10]。在作用机制层面，数字技术可通过促进技术创新与金融可得性[11]、提升农产品销售能力[12]、推动农业绿色发展[13]、强化产业链供应链协同[14]与结构升级[15-17]、农村产业融合[18]以及优化产业结构[19]等多重路径提升农业经济韧性。然而，现有研究整体仍以线性分析框架为主，侧重单一因素的因果识别，对多要素协同作用机制缺乏系统刻画，同时在时间动态与区域异质性的综合分析方面也存在不足。

针对上述研究缺口，本研究聚焦数字技术和农业经济韧性，通过将技术-组织-环境框架（Technology-Organization-Environment, TOE）与农业实际相结合，构建一个能够反映数字技术驱动农业经济韧性的理论分析框架，并采用动态定性比较分析（Qualitative Comparative Analysis, QCA）方法，旨在揭示数字技术提升农业经济韧性的差异化要素组合路径及其时空效应，从而拓展数字技术与农业经济韧性的研究，并为各级政府制定农业数字化政策提供决策依据，推动数字技术与农业发展从粗放投入迈向高效协同，助力农业强国建设。

1　理论框架

1.1　TOE框架下数字技术影响农业经济韧性的理论分析

农业经济韧性本质上体现为农业经济系统在面对外部冲击时的综合响应能力，研究数字技术驱动农业经济韧性提升的多元路径，需分析数字技术对农业经济韧性的影响，并从系统运行机制出发考察其如何通过多维要素作用于农业经济系统的动态调整过程。数字技术作为一种创新性关键技术，其对农业经济系统的影响不仅局限于生产环节，还通过改变信息获取方式、要素配置结构以及外部保障环境，对农业经济运行机制产生变革性影响。一方面，数字技术通过提升信息获取与处理效率，降低农业生产决策的不确定性，从而增强农业系统抵御风险冲击的能力；另一方面，数字技术通过促进劳动力、资本及土地等要素的优化配置，推动农业生产组织方式由分散化向协同化转变，提高农业经济系统在冲击下的调整能力；此外，数字技术还通过完善数字基础设施、推动农村公共服务与市场体系建设，改善农业发展的外部环境，增强农业系统的恢复能力与重构能力。因此，单一维度难以全面刻画数字技术对农业经济韧性的作用机制，有必要引入多维分析框架进行系统刻画。

TOE理论框架最初由TORNATZKY等[20]提出，将分析企业采纳创新技术的影响因素归结为技术、组织和环境三个方面。由于TOE框架只是提供了一种分析维度，并未强制指定各维度的具体变量，因此展示出较强的适应性。基于上述分析，本研究引入TOE理论框架，结合中国农业数字化转型与农业经济韧性的实践特征，从数字技术的技术支撑、组织应用与环境保障三个维度构建其影响农业经济韧性的逻辑框架。

第一，数字技术在生产环节能够通过提升农业生产精准性[21]直接增强农业经济韧性。数字技术投资作为技术研发的物质基础，显著促进关键技术创新[22]，是引入物联网设备、大数据平台、智能农机等先进技术的前提。以“宽带中国”等为代表的互联网、移动通信，以及大数据中心等数字基础设施，则是信息流通、数据交互与远程服务的物理通道，其完善程度决定了数字技术应用的广度与深度[23]。此外，农业生产数字化关注物联网、大数据，以及人工智能等技术在田间地头的具体应用。例如，水肥一体化与病虫害智能识别等可以实现生

产要素的按需精准投入和过程的自动化管控，直接提升生产效率和资源利用率[24]，是强化农业系统抵抗力的关键。

第二，数字技术在组织层面通过提升信息处理效率增强农业经济韧性。聚焦农业经营主体内部及产业链的业务流程数字化，提升农业经济系统适应市场变化和实现价值升级的能力。一方面，农业经营数字化作为生产环节的后端，涵盖内部管理、决策支持与供应链协同的全面数字化，它通过降低信息、协商与监督等交易成本[15]，提升信息处理效率，增强企业对风险的感知和应对能力。另一方面，农业流通数字化利用区块链溯源和智慧物流等技术，重构农产品从产地到消费者的流通链条，提升产品信任与附加值，是延伸农业产业链、应对市场波动、增强适应力并探索重构转型的重要手段[25]。

第三，数字技术在外部环境中通过改善公共服务间接增强农业经济韧性。一方面，政府层面对数字技术的关注可为数字技术的研发和应用提供制度保障，提升农业数字化转型和冲击应对的适应力[26]。另一方面，居民层面的农村生活服务数字化也通过改善信息环境与公共服务供给，提升农民数字素养与人力资本积累[27]，为农业经济的数字化转型提供外部保障。这些外部环境层面的数字化实践虽不直接作用于农业经济过程，但通过改善外部条件对农业经济韧性产生持续影响。

1.2 数字技术影响农业经济韧性的协同效应分析

TOE理论分析框架下的因素并非独立、线性地作用于农业经济韧性，而是通过复杂的非线性协同效应共同驱动农业经济韧性提升。一方面，技术层面先进的农业生产数字化需要强大的数字基础设施作为数据传输的支撑，也需要组织层面的生产经营数字化的管理平台进行数据整合与决策，还需要环境层面的政府和居民对其进行引导和维护。另一方面，这些要素之间彼此依赖、互为前提，具有显著的非线性影响和协同效应。

综上，本研究在TOE框架下同时考虑要素间的协同效应，构建了数字技术与农业经济韧性的理论分析框架，即农业经济韧性的提升，是技术支撑、组织应用与环境保障三类方面的要素通过非线性协同，形成多种差异化有效组合的结果，这些组态内部要素间呈现互补、协同的关系，共同满足农业经济系统在抵抗力、适应力和重构力等多维能力上的需求（图1）。

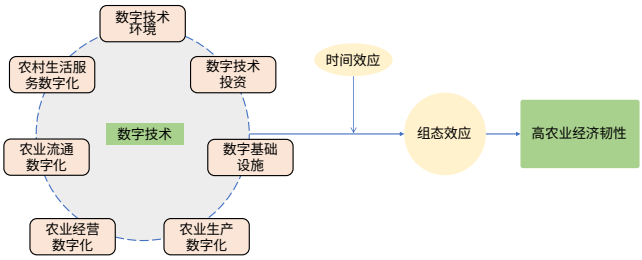


图1 数字技术驱动农业经济韧性的理论分析框架

Fig. 1 Theoretical analysis framework for the resilience of the agricultural economy driven by digital technology

后续研究设计和实证分析将基于此理论分析框架，并运用动态QCA方法识别出数字技术提升农业经济韧性的具体组态路径，从而揭开数字技术驱动农业经济韧性提升的“黑箱”，为差异化政策设计提供理论依据。

2 研究方法

农业经济韧性受数字基础设施、技术应用等因素共同影响。传统回归模型虽能检验单一变量的“净效应”，但无法系统回答“哪些变量组合共同导致了最优结果”的问题。而QCA通过布尔代数运算可以识别出导致结果出现的充分条件组合，它允许变量的因果非对称性、等效性以及并发因果关系，从而更贴合农业系统多要素协同的现实复杂性[28]。因此，QCA为本研究从组态视角系统性剖析数字技术如何协同驱动农业经济韧性提升提供了方法框架。

尽管QCA能够揭示多因素协同作用机制，然而，农业经济韧性的提升并非静态结果，而是一个动态演化过程。数字技术的渗透、政策环境的调整、市场需求的变迁以及组织能力的积累均随时间推移而演变，其协同驱动韧性的路径也可能随之发生阶段性变化。传统的横截面QCA方法虽能识别某一时点的组态，却难以揭示这些组态路径的时序演变规律与动态适应性[27]。

为此，本研究进一步采用动态QCA方法，通过整合面板数据，从汇总、组间（时间维）、组内（区域维）多个层面分析条件与结果的关系。它不仅能够识别出跨时期的稳健性驱动组态，还能通过分析组间一致性调整距离等指标，探测组态效应是否随时间发生显著变化，进而揭示驱动路径的演化轨迹。

2.1 变量选取与数据来源

2.1.1 变量选取

（1）结果变量。农业经济韧性作为一个多维概念，通常涵盖抗冲击能力、适应调整能力与恢复重构能力等多个方面。现有研究主要采用指标体系法或核心变量法测度农业经济韧性。核心变量法虽未对各维度进行分别刻画，但其能够从整体上反映农业经济系统在外部冲击下的动态响应特征。具体而言，若某一地区第一产业增加值对外部冲击的波动响应较小，表明其在冲击发生时具有较强的稳定性与抵御能力；而在冲击后能够较快恢复并维持增长趋势，则体现出系统较强的适应与恢复能力。因此，该指标在一定程度上综合反映了农业经济韧性的核心内涵。同时，考虑到指标体系法在指标选取与权重设定上存在较强主观性，且易受数据可得性限制，核心变量法在保证测度一致性与可比性的同时，更有助于开展跨区域实证分析。

基于此，选用核心变量的方法来测度农业经济韧性，参考李义姝和严奉宪[1]的做法，以第一产业增加值作为农业经济韧性的核心变量，测度第一产业增加值敏感度指数以衡量各省份的农业经济韧性（Res_agr）。具体测度方法如公式（1）～公式（3）所示。

$$Res_agr_{it} = \frac{\Delta Y_{it} - \Delta E_t}{\left|\Delta E_t\right|} \tag{1}$$

$$\Delta Y_{it} = \frac{Y_{i,t} - Y_{i,t-k}}{Y_{i,t-k}} \tag{2}$$

$$\Delta E_t = \frac{Y_{r,t} - Y_{r,t-k}}{Y_{r,t-k}} \tag{3}$$

式中：Res_agr_{it}表示i省份第t年的农业经济韧性；ΔY_{it}表示i省份从$t-k$年到t年Y_i的变化率；ΔE_t表示全域从$t-k$年到t年Y_r的变化率；Y表示第一产业增加值，并且设定$k=1$。

（2）前因变量。数字技术对农业经济韧性的影响是一个多维度、多层次的复杂过程。为系统考察数字技术对农业系统的赋能效应，基于TOE理论框架，从数字技术环境和投资、基础设施、农业生产、经营、流通和生活服务七个维度选择前因变量，这些变量既包含硬件投入指标，也涵盖软性应用指标，能够全面反映数字技术在农业领域的渗透程度和作用路径。

参考骆耀峰等[11]的做法，在数字技术环境（Env_dt）层面，选择政府数字关注度和专利有效率两个指标进行衡量；在数字技术投资（Inv_dt）层面，选择社会数字产业固定投资和社会数字服务固定投资两个指标进行衡量；在数字基础设施（Inf_dt）层面，选择互联网普及率、移动电话覆盖率和光缆线路覆盖率三个指标进行衡量；在农业生产数字化（Pro_dt）层面，选择农业生产电气化程度和农村数字化基地两个指标进行衡量；在农业经营数字化（Ope_dt）层面，选择电子商务销售额和电子商务采购额两个指标进行衡量；在农业流通数字化（Cir_dt）层面，选择农村邮政通信服务水平和农村投递线路长度两个指标进行衡量；在农村生活服务数字化（Liv_dt）层面，选择农村网络支付规模和农民交通通信支出水平两个指标进行衡量。

在七个前因变量的具体测度方法上，采用基于指标间相关性的指标重要性评估方法（Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, CRITIC）确定相关指标权重[29]。相比主观赋权方法，CRITIC法通过计算指标间的对比强度和冲突性来客观确定权重，既能反映指标数据的离散程度，又能避免相关性较强的指标重复赋权，从而保证评估结果的科学性和可靠性。

2.1.2 数据来源

考虑数据的可得性，本研究样本选用2011—2023年中国30个省区市（不包括西藏和港澳台）的农业经济韧性和各前因变量的相关数据。数据来源于样本期内《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、北京数字金融普惠指数及各省市自治区统计年鉴、统计公告、国家统计局官网，以及政府工作报告等。

2.2 变量统计性描述和校准

从变量的描述性统计结果（表1）来看，各变量在不同地区和年份之间呈现出明显的差异特征。具体而言，结果变量农业经济韧性（Res_agr）最大值为7.369 2，最小值为−8.836 5，标准差为1.329 3，表明不同地区农业经济系统在应对外部冲击时存在显著差异，具有较强的离散性特征。在相关前因变量方面，各指标均值整体处于0.3～0.5之间，但标准差普遍较高，反映出中国农业数字化发展虽整体推进，但区域间发展不均衡问题仍较为突出。其中，数字技术投资（Inv_dt）和农业生产数字化（Pro_dt）的标准差相对较大，说明不同地区在数字技术投入与生产环节应用方面差异更为明显；而数字基础设施（Inf_dt）与农村生活服务数字化（Liv_dt）的离散程度相对较低，表明其发展

相对更为均衡。

表1 农业经济韧性结果变量及其前因变量的统计性描述和校准结果

Table 1 Statistical descriptions and calibration results of the outcome variable and antecedent variables of agricultural economic resilience

变量名称		统计性描述				校准		
		最大值	最小值	均值	标准差	完全不隶属	交叉点	完全隶属
结果变量	Res_agr	7.369 2	−8.836 5	0.000 4	1.329 3	−0.510	−0.152	0.497
前因变量	Env_dt	0.973 6	0.111 2	0.384 6	0.170 9	0.255	0.373	0.489
	Inv_dt	0.987 4	0.111 6	0.391 9	0.243 0	0.184	0.324	0.565
	Inf_dt	0.882 8	0.126 6	0.389 0	0.176 4	0.249	0.345	0.496
	Pro_dt	0.999 2	0.111 4	0.313 7	0.234 1	0.249	0.345	0.496
	Ope_dt	1.127 4	−0.709 5	0.412 3	0.273 4	0.174	0.360	0.580
	Cir_dt	0.991 7	0.111 8	0.392 3	0.195 6	0.242	0.364	0.493
	Liv_dt	0.983 5	0.116 6	0.478 7	0.176 4	0.325	0.455	0.595

变量校准是指给案例和条件赋予集合隶属分数的过程。根据样本的实际情况，参考QI等[30]的做法，选用直接校准法将样本数据转换为模糊集隶属分数，将25%分位数、50%分位数、75%分位数分别设定为完全不隶属、交叉点和完全隶属3个锚点。

3 结果与分析

3.1 单个条件的必要性分析

在进行组态分析之前，需要先对单个前因条件进行必要性分析，厘清单个前因条件是否是结果发生的必要条件。必要性分析的判断标准主要基于两个关键指标[31]：首先，当前因变量的一致性水平高于0.9的阈值时，该条件可视为结果变量的必要条件；其次，在面板数据分析中，需要通过组间一致性调整距离来评估一致性水平，当调整距离小于0.2时，汇总一致性精确度较高，可作为判断依据。若一致性调整距离大于0.2，则需要进一步探究前因条件的必要性。遵循这一分析流程，对数字技术驱动农业经济韧性提升的单一前因条件进行必要性判断，所得结果如表2所示。在高/非高农业经济韧性结果中，汇总一致性均小于0.9，根据一致性水平指标阈值判断标准，所有前因变量均不是结果发生的必要条件。然而，从组间一致性调整距离指标来看，高农业经济韧性结果中~Pro_dt和Ope_dt的汇总一致性水平低于0.9，且组间一致性调整距离低于0.2。因此，以上两个前因变量与高农业经济韧性之间不存在必要性关系。然而，在高/非高农业经济韧性结果中均存在单一条件下组间一致性调整距离大于0.2的情况，因此，需要进一步探究前因条件的必要性。

若前因变量的组间一致性调整距离大于0.2，则需要通过逐年测度其一致性水平和组间覆盖度来做进一步检验[32]。因此，以高农业经济韧性为例，列出了组间一致性调整距离大于0.2的因果组合情况，结果如表3所示，可以看出，情况2~情况4，以及情况7～情况11的组间一致性均不高于0.9，表明~Env_dt、Inv_dt、~Inv_dt、Pro_dt、~Ope_dt、Cir_dt、~Cir_dt和Liv_dt均不构成高农业经济韧性的必要条件。

然而，情况1中的2020年、情况5中的2022年和2023年、情况6中的2013年和2014年，以及情况12中的2011年、2012年和2014年的组间一致性大于0.9，且组间覆盖度大于0.5，因此需要对其必要性进行进一步检验。参考DUL[33]的做法，作前因变量-结果变量的散点图（图2）检验发现，多数案例点集中于右侧Y轴附近或者有超过1/3的案例落于左上方，因此，上述前因变量均未通过必要条件检验，不构成高农业经济韧性的必要条件。

3.2 条件组态的充分性分析

单个条件的必要性分析表明，单一前因变量无法驱动农业经济韧性的必然提升，寻求不同的数字技术前因条件组合如何驱动农业经济韧性提升成为分析这一问题的核心，组态分析则可以分析不同条件组合如何共同作用产生特定的结果。因此，参考胡海晨等[34]的研究，对前因条件进行组态分析，将组态的原始一致性阈值设定为0.8，最小案例阈值设定为4，不一致性的比例减少（Proportional Reduction in Inconsistency, PRI）一致性阈值设定为0.6。在强化标准分析环节，由于不同省份间特质

表2　农业经济韧性前因变量的必要性分析结果

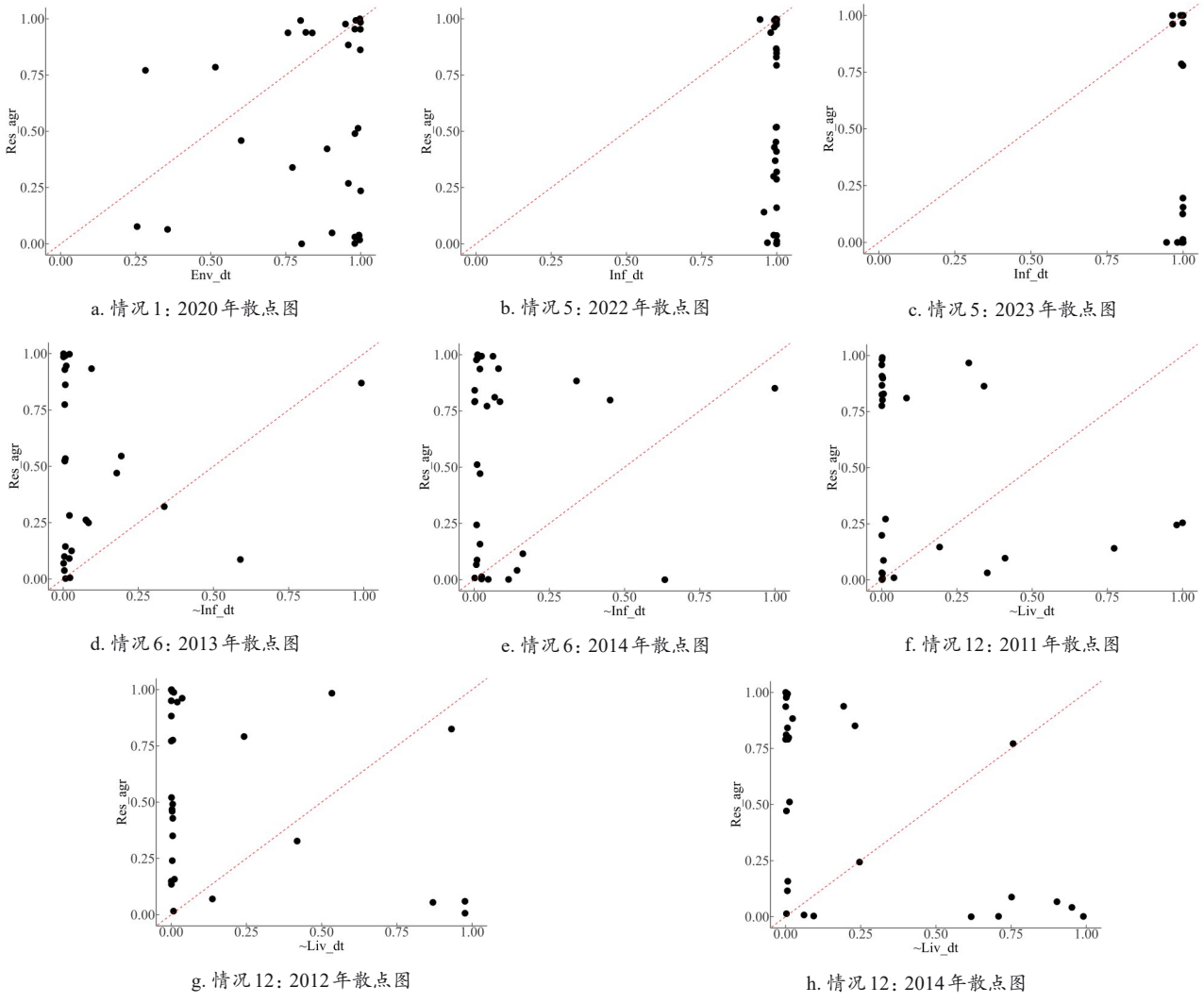
Table 2　Necessity analysis results of antecedent variables for agricultural economic resilience

条件变量	Res_agr				~ Res_agr			
	汇总一致性	汇总覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离	汇总一致性	汇总覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离
Env_dt	0.533	0.538	0.527	0.339	0.546	0.535	0.430	0.259
~ Env_dt	0.539	0.551	0.506	0.362	0.528	0.523	0.422	0.265
Inv_dt	0.547	0.572	0.217	0.391	0.511	0.518	0.358	0.414
~ Inv_dt	0.538	0.532	0.205	0.374	0.577	0.552	0.309	0.362
Inf_dt	0.535	0.557	0.679	0.385	0.533	0.538	0.663	0.414
~ Inf_dt	0.556	0.551	0.687	0.339	0.561	0.539	0.691	0.362
Pro_dt	0.493	0.519	0.221	0.610	0.547	0.558	0.221	0.535
~ Pro_dt	0.580	0.570	0.197	0.541	0.528	0.502	0.253	0.506
Ope_dt	0.542	0.555	0.197	0.374	0.535	0.531	0.165	0.357
~ Ope_dt	0.542	0.546	0.253	0.368	0.551	0.538	0.209	0.345
Cir_dt	0.482	0.495	0.346	0.610	0.590	0.588	0.193	0.621
~ Cir_dt	0.598	0.601	0.285	0.592	0.492	0.479	0.201	0.627
Liv_dt	0.491	0.495	0.647	0.518	0.605	0.591	0.402	0.541
~ Liv_dt	0.594	0.608	0.490	0.506	0.482	0.479	0.466	0.610

表3　农业经济韧性前因变量的组间一致性调整距离大于0.2的因果组合情况

Table 3　Causal combinations with an inter-group consistency adjustment distance of antecedent variables for agricultural economic resilience greater than 0.2

因果组合情况		指标	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
情况1	Env_dt/Res_agr	组间一致性	0.346	0.153	0.194	0.414	0.725	0.797	0.699	0.564	0.800	0.913	0.824	0.394	0.230
		组间覆盖度	0.402	0.470	0.536	0.691	0.523	0.572	0.510	0.522	0.565	0.577	0.491	0.595	0.510
情况2	~ Env_dt/Res_agr	组间一致性	0.680	0.893	0.848	0.693	0.351	0.245	0.410	0.501	0.291	0.197	0.259	0.734	0.788
		组间覆盖度	0.527	0.588	0.514	0.537	0.325	0.550	0.567	0.625	0.509	0.677	0.438	0.608	0.647
情况3	Inv_dt/Res_agr	组间一致性	0.476	0.420	0.466	0.350	0.542	0.449	0.630	0.592	0.648	0.608	0.521	0.660	0.723
		组间覆盖度	0.422	0.569	0.650	0.643	0.737	0.632	0.616	0.572	0.590	0.549	0.404	0.546	0.648
情况4	~ Inv_dt/Res_agr	组间一致性	0.582	0.633	0.641	0.732	0.550	0.586	0.529	0.509	0.461	0.505	0.548	0.460	0.304
		组间覆盖度	0.567	0.571	0.495	0.544	0.318	0.519	0.494	0.599	0.520	0.658	0.557	0.695	0.552
情况5	Inf_dt/Res_agr	组间一致性	0.217	0.358	0.145	0.146	0.223	0.273	0.453	0.556	0.765	0.720	0.993	0.996	0.997
		组间覆盖度	0.426	0.542	0.765	0.674	0.731	0.629	0.606	0.556	0.613	0.562	0.442	0.537	0.601
情况6	~ Inf_dt/Res_agr	组间一致性	0.898	0.851	0.939	0.910	0.840	0.759	0.762	0.555	0.395	0.403	0.021	0.012	0.006
		组间覆盖度	0.547	0.719	0.515	0.544	0.388	0.539	0.565	0.628	0.536	0.679	0.837	0.882	0.545
情况7	Pro_dt/Res_agr	组间一致性	0.513	0.511	0.549	0.489	0.579	0.366	0.400	0.412	0.367	0.391	0.504	0.639	0.677
		组间覆盖度	0.458	0.551	0.531	0.528	0.451	0.411	0.391	0.525	0.624	0.596	0.528	0.572	0.605
情况8	~ Ope_dt/Res_agr	组间一致性	0.69	0.676	0.695	0.568	0.659	0.451	0.460	0.355	0.481	0.578	0.601	0.627	0.293
		组间覆盖度	0.511	0.633	0.557	0.564	0.545	0.585	0.570	0.459	0.526	0.583	0.459	0.647	0.433
情况9	Cir_dt/Res_agr	组间一致性	0.844	0.650	0.654	0.481	0.510	0.369	0.303	0.319	0.329	0.405	0.416	0.500	0.505
		组间覆盖度	0.524	0.558	0.505	0.473	0.446	0.450	0.382	0.456	0.412	0.544	0.395	0.563	0.645
情况10	~ Cir_dt/Res_agr	组间一致性	0.237	0.440	0.458	0.621	0.578	0.665	0.795	0.753	0.809	0.685	0.646	0.575	0.512
		组间覆盖度	0.437	0.646	0.638	0.712	0.437	0.651	0.611	0.636	0.681	0.606	0.530	0.586	0.578
情况11	Liv_dt/Res_agr	组间一致性	0.121	0.138	0.260	0.110	0.274	0.273	0.548	0.760	0.662	0.688	0.811	0.804	0.853
		组间覆盖度	0.374	0.431	0.545	0.263	0.255	0.305	0.456	0.613	0.479	0.540	0.489	0.567	0.677
情况12	~ Liv_dt/Res_agr	组间一致性	0.933	0.917	0.841	0.953	0.772	0.761	0.581	0.328	0.480	0.455	0.316	0.315	0.164
		组间覆盖度	0.510	0.602	0.548	0.647	0.553	0.805	0.650	0.509	0.796	0.758	0.513	0.698	0.402



a. 情况1：2020年散点图 b. 情况5：2022年散点图 c. 情况5：2023年散点图

d. 情况6：2013年散点图 e. 情况6：2014年散点图 f. 情况12：2011年散点图

g. 情况12：2012年散点图 h. 情况12：2014年散点图

图2 农业经济韧性前因变量的必要性条件检验散点图

Fig. 2 Scatter plot of necessary condition test of antecedent variables for agricultural economic resilience

差异较大且各前因条件均不构成单一必要条件。因此，在反事实分析部分对前因条件不进行方向预设。借助R语言软件求解获得复杂解、中间解和简单解，并以中间解为主，简约解为辅，根据中间解和简约解的嵌套关系判断条件变量是否为核心条件或边缘条件，寻找符合条件的组态路径，具体结果见表4。

3.2.1 汇总结果分析

表4为2011—2023年高农业经济韧性的整体组态分析结果，共包含5条路径组态H1a、H1b、H1c、H2和H3，进一步提炼成3种模式，即政策市场双驱型、生产链赋能型和协同驱动型。根据表4可知，在高农业经济韧性中，整体解的汇总一致性为0.813，大于0.75，表明5条组态路径是产生高农业经济韧性的充分条件。按照3种模式就5种组态进行具体和比较分析。

（1）政策市场双驱型。其提升农业经济韧性模式的核心在于政策引导与市场响应的协同作用，具体包括组态H1a、H1b和H1c。其中，组态H1a以数字技术环境和农业经营数字化为核心条件，组态H1b以数字技术投资和农业经营数字化为核心条件，组态H1c以数字技术投资为核心条件，并辅以其他条件形成有效组合。总体来看，数字技术环境与数字技术投资主要体现为政府主导的制度供给与资源投入，构成农业数字化转型的政策推力；而农业经营数字化则通过优化市场响应机制，体现市场主体的内生动力，形成市场拉力。三种组态虽在核心条件上存在差异，但均通过不同形式的政策推力与市场拉力耦合共同促进农业经济韧性提升。以安徽省为例，作为中国重要的粮食生产基地，近年来构建了政策引导与市场驱动协同发力的农业数字化转型模式。2022年，省级层面出台《加快“数字皖

表4　高农业经济韧性的组态

Table 4　High agricultural economic resilience configuration

条件变量	政策市场双驱型			生产链赋能型	协同驱动型
	H1a	H1b	H1c	H2	H3
Env_dt	●		⊗	⊗	●
Inv_dt	⊗	●	●	⊗	•
Inf_dt	⊗	⊗	⊗	●	●
Pro_dt		⊗	⊗	●	●
Ope_dt	●	●	⊗	●	●
Cir_dt	⊗	•	⊗	⊗	⊗
Liv_dt	⊗	⊗	⊗	•	•
一致性	0.809	0.848	0.825	0.801	0.813
PRI	0.701	0.724	0.674	0.653	0.683
覆盖度	0.096	0.083	0.050	0.050	0.063
唯一覆盖度	0.049	0.041	0.025	0.020	0.023
组间一致性调整距离	0.213	0.096	0.229	0.257	0.173
组内一致性调整距离	0.334	0.311	0.311	0.299	0.299
总体一致性			0.813		
总体PRI			0.721		
总体覆盖度			0.225		

注：●表示核心条件存在；⊗表示核心条件不存在；•表示边缘条件存在；⊗表示边缘条件不存在。

农”建设若干措施》，通过统筹整合涉农财政资金、加大农业智能感知设备等智能农机补贴力度，建设农业大数据平台，以及深入实施农村电商高质量发展行动等，重点推进农业三大领域数字化转型，构建了从生产端的精准农业管理到流通端的数字化经营体系，再到销售端的电商新业态培育的全链条数字化赋能机制，显著提升了农业风险预警能力、市场响应速度和价值创造效率，驱动了农业经济韧性的提升。

（2）生产链赋能型。组态H2为生产链赋能型提升农业经济韧性模式。在该类模式中，组态以数字基础设施、农业生产数字化和农业经营数字化为核心条件，同时辅以农村生活服务数字化为边缘条件，进行良性互动配合，即使数字技术环境和数字技术投资等发展不充分，仍可实现高农业经济韧性的结果。以江西省为例，2022年大力推进“5G+农业”应用，建成多个省级农业物联网示范基地，农业生产数字化通过智能农业装备和精准农业技术提高生产效率，降低了自然风险影响；数字基础设施优化仓储、物流和网络覆盖，增强了供应链稳定性；农业经营数字化借助大数据分析优化资源配置，提升了市场应变能力；农村生活数字化则通过电商和数字金融服务改善经济环境，通过加速数字化技术在农业农村领域的融合应用，共同提升了农业经济韧性。

（3）协同驱动型。组态H3为协同驱动型提升农业经济韧性模式，该组态的特征在于通过数字技术环境、数字基础设施、农业生产数字化和农业经营数字化等核心条件的协同作用，构建多维度联动的数字技术驱动农业经济韧性提升体系。该组态通过政策引导确立发展方向，资金投入夯实物质基础，基础设施提升运行效率，民生保障巩固人力资本，各要素相互配合形成有机整体，从而有效应对市场波动、自然灾害等复合型风险挑战。这种协同效应不仅增强了单一要素的作用效果，更通过系统整合产生了整体大于部分之和的韧性提升效果。福建省的实践为协同驱动型组态提供了典型范例，该省通过《数字农业农村发展规划（2019—2025年）》系统推进数字技术与农业各环节的深度融合，加快了农业物联网、大数据、人工智能、5G通信、区块链、遥感等新技术、新装备集成应用，提升农业全产业链数字化和智能化水平，多要素协同提升了农业经济韧性。

3.2.2　组间结果分析

根据组间一致性分析各组态的时间效应，如表4所示，5条组态的一致性水平均大于0.8，超过0.7的一致性判断标准，其中组态H1b和H3的组间一致性调整距离小于0.2，说明组态H1b和H3在样本期间不具有明显的时间效应，而组态H1a、H1c和H2的组间一致性调整距离超过0.2，表明组态H1a、H1c和H2在样本期间呈现出明显的时间效应。据此，进一步分析了各组态的组间一致性的时间变化情况，结果如图3所示。

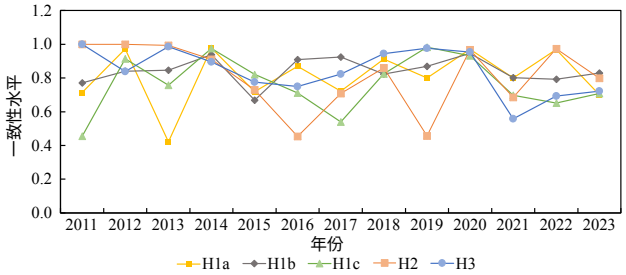


图3　农业经济韧性条件组态的组间一致性水平

Fig. 3　The inter-group consistency levels of conditional configurations for agricultural economic resilience

由图3可知，组态H1a、H1c和H2的组间一致性水平在2011—2020年波动较为明显，表明数字技术驱动农业经济韧性的作用具有明显的阶段性。这

种波动并非随机变化，而是与中国数字农业发展进程及相关政策推进节奏密切相关。其中，组态H1a在2013年的组间一致性水平最低，组态H1c在2011年的组间一致性水平最低，可能因为2013年前后，“宽带中国”等国家级信息基础设施战略才开始逐步推进，并开始对物联网在农业领域的应用进行了初步探索与试验，但实施初期还未真正赋能农业经济发展。组态H2在2016年和2019年的组间一致性水平相对较低，可能因为2016年开始大力推进“互联网+”现代农业，并于2019年实施《数字乡村发展战略纲要》，这推动农业生产经营数字化建设加快发展，强化了数字技术在农业领域的渗透与应用。然而，随着数字技术的渗透，在2023年具有时间效应的组态H1a、H1c和H2以及不具有时间效应的组态H1b和H3的组间一致性水平实现了高度重叠，并均保持在了0.7左右，表明5条组态均可以充分驱动农业经济韧性的提升。

3.2.3 组内结果分析

根据组内一致性分析各组态的空间效应，如表4所示，5条组态的组内一致性调整距离均大于0.2，说明各组态在样本期间均具有明显的空间效应，5条组态会因区域不同而存在显著差异。因此，绘制各省份的组内一致性分布，并对其展开进一步分析以检验数字技术驱动农业经济韧性提升的异质性，结果如图4所示。

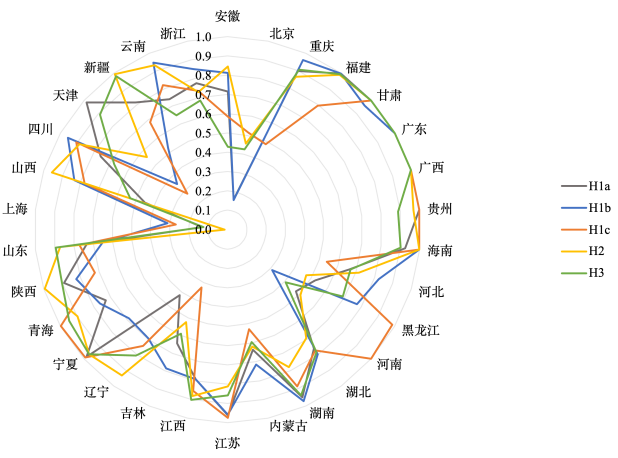


图4 农业经济韧性条件组态的组内一致性水平

Fig. 4 The intra-group consistency levels of conditional configurations for agricultural economic resilience

如图4所示，在绝大多数省份中，5条组态的组内一致性结果均高于0.7，这表明5条组态仅对少数省份的解释力较弱。具体而言，5条组态路径对北京和上海的解释力均较弱，这可能是因为北京和上海作为主要粮食主销区和发达的一线城市，要素流动快，农业经济已经具有较强韧性，数字技术对农业经济韧性的提升驱动相对较弱。从剩余其他省份来看，组态H1a路径对辽宁的解释力较弱，但在其他四条路径，尤其是组态H2的组内一致性水平较高；组态H1b和H3路径对河南的解释力较弱，但其在组态H1c的组内一致性水平较高；组态H1c路径对天津的解释力较弱，但其在组态H1a的组内一致性水平较高；组态H2的组态一致性水平均相对较高。因此，在实现农业经济韧性提升时，有必要考虑地区差异性。

首先，参考孟维福等[23]的研究，按照中国传统的东部、中部和西部地区划分进行分组分析，该划分不仅体现了中国区域经济发展水平、要素禀赋结构及制度环境的系统性差异，也在数字基础设施水平、农业经营方式，以及市场化程度等方面呈现出显著分化。因此，这一区域划分能够为分析数字技术作用机制的空间差异提供具有现实依据的分析框架。此外，考虑到中国粮食生产与消费在空间上的非均衡分布，参考杨果和万凌霄[35]的研究进一步从粮食产销功能区视角出发继续探讨组态路径的区域覆盖度，该划分从粮食供需结构与区域功能定位出发，能够更直接反映不同地区在粮食生产责任、市场依赖程度及风险暴露水平方面的差异。据此，从区域异质性视角对5条路径的区域分布特征进行了深入分析，结果如表5所示。

表5 农业经济韧性条件组态的区域覆盖度均值

Table 5 The average coverage degree of conditional configurations for agricultural economic resilience

区域类型		政策市场双驱型			生产链赋能型	协同驱动型
		H1a	H1b	H1c	H2	H3
地理区域异质	东部地区	0.050	0.042	0.020	0.046	0.060
	中部地区	0.121	0.142	0.087	0.030	0.045
	西部地区	0.099	0.077	0.054	0.059	0.063
粮食产销区域异质	主产区	0.094	0.129	0.069	0.034	0.039
	主销区	0.057	0.043	0.020	0.052	0.073
	产销平衡区	0.100	0.064	0.047	0.059	0.070

根据表5，从地理区域异质性来看，组态H1a、H1b和H1c覆盖度最大的区域均为中部地区，即安徽、江西和河南等中部地区主要依靠政策市场双驱型路径驱动农业经济韧性的提升。组态H2和组态H3覆盖度最大的区域均是西部地区，其次是东部

地区，即生产链赋能型路径和协同驱动型路径的解释区域主要分布在西部和东部地区。这一区域差异形成可能主要源于三个方面：首先，中部地区作为中国重要的粮食主产区，农业政策支持力度大且市场机制相对完善，但产业链条较短、基础设施相对薄弱。此外，该地区以粮食作物为主，而粮食作物的短期供应弹性相对较低[36]，其韧性提升更依赖政策保障和稳定生产，更适合通过政策引导和市场开放双轮驱动来提升韧性。其次，西部地区由于地形复杂、生态脆弱，更依赖生产链各环节的技术赋能来克服自然条件限制，同时需要协同推进生态保护与产业发展。最后，东部地区经济发达、要素集聚，具备实施协同驱动型模式的条件，既能通过高水平的数字基础设施和科技创新赋能生产链，又能依托完善的公共服务体系保障民生，形成多元要素协同的韧性提升路径。

从粮食产销区域异质性来看，组态H1a覆盖度最大的区域为产销平衡区；组态H1b和H1c覆盖度最大的区域为主产区，其次是产销平衡区；组态H2覆盖度最大的区域是产销平衡区，其次是主销区；组态H3覆盖度最大的区域是主销区，其次是产销平衡区。即政策市场双驱型路径的解释区域主要分布在主产区和产销平衡区，生产链赋能型路径和协同驱动型路径的解释区域主要分布在主销区和产销平衡区。这一区域差异可能主要源于以下三个方面：首先，粮食主产区更倾向于采用数字技术与政策市场双驱型路径，这与其承担的国家粮食安全战略定位密切相关。作为国家粮食生产的核心区域，这些地区享有强有力的政策支持体系，同时农产品流通主要依托国家收储系统，形成了数字技术政策调控与市场机制相互配合的农业韧性发展模式。其次，产销平衡区呈现出过渡性特征，这些地区既要保障区域粮食供给安全，又要加大经济作物种植以促进农民增收致富，同时还通过延伸产业链、完善流通体系来提升农业价值，因此除数字技术的政策市场双驱型路径外，还表现出了生产链赋能的农业经济韧性提升路径。最后，粮食主销区以服务城市消费市场为主，城镇化水平较高，要素流动性强，高附加值经济作物需求大，对供应链的协同性要求高，这需要该地区建立更加完善的农业韧性系统。

3.3 稳健性检验

为克服参数设定的自主性造成组态结果的偶然性偏差，参照相关研究的稳健性检验方法[37]，通过依次调整原始一致性阈值、案例频数阈值和PRI阈值对农业经济韧性提升的前因组态进行了稳健性检验。首先，将一致性由0.8调整至0.75；其次，将案例数阈值由4调整至3，这两种方法新产生的组态结果均与原始结果构成了清晰的子集关系。最后，将PRI阈值由0.6调整为0.65，产生的组态结果与原组态保持一致。因此，以上三种检验方法均表明了农业经济韧性发展的组态结果具有稳健性和可靠性。

4　结论、政策建议与展望

4.1 研究结论

在数字技术深刻变革的社会背景下，基于TOE理论构建了数字技术与农业经济韧性的理论分析框架，利用2011—2023年中国的省级面板数据，采用动态QCA方法系统分析了数字技术驱动农业经济韧性提升的组态路径、时间异质性和空间异质性，研究发现如下。第一，在整体方面，单个因素并不能构成农业经济韧性提升的必要条件，数字技术赋能农业经济韧性提升是多维因素联动匹配的过程。第二，驱动农业经济韧性提升的组态路径共有5条，并可提炼为数字技术的政策市场双驱型、生产链赋能型和协同驱动型3种模式。第三，在时间维度方面，组态H1a、H1c和H2在样本期间具有显著的时间效应，并且随着数字技术的深度渗透，所有组态的组间一致性水平在2023年实现了重叠，实现了数字技术驱动农业经济韧性提升的多元化。第四，在空间维度方面，从地理区域异质性来看，数字技术政策市场双驱型路径的解释区域主要分布在中部地区，而生产链赋能型路径和协同驱动型路径的解释区域主要分布在西部和东部地区；从粮食产销区域异质性来看，数字技术政策市场双驱型路径的解释区域主要分布在主产区和产销平衡区，生产链赋能型路径和协同驱动型路径的解释区域主要分布在主销区和产销平衡区。

4.2 政策建议

数字技术赋能农业经济韧性提升具有显著的组态复杂性与时空异质性，提升韧性的关键在于区域能否选择并动态优化适配自身条件的数字技术要素组合。基于研究结果提出以下政策建议。

第一，针对政策市场双驱型（组态H1）主要分布在中部地区和粮食主产区，应强化政策引导与

市场响应的协同机制，筑牢稳产保供的数字根基。一方面，政府应精准投入，将数字基础设施建设和智能农机补贴等资源，优先投向能够直接提升粮食生产链稳定性与效率的环节。另一方面，还需同步激活市场主体，通过数据开放平台、税收优惠和电商赋能，鼓励新型经营主体利用数字化工具开展市场化经营，使政策投入能通过市场机制转化为持续的内生动力，共同提升以稳产保供为核心目标的农业韧性。

第二，针对生产链赋能型（组态H2）在西部地区和产销平衡区具有较高解释力，以纵向贯通为核心破解产业链数字化协同的堵点。一方面，政策应超越对单一技术应用的补贴，转向支持全产业链的数字化系统集成。建议设立专项基金，鼓励由龙头企业或产业联合体牵头，应用物联网、区块链和产业互联网平台，重点打通从生产管理、加工仓储到冷链物流和营销品牌的数据流与业务流。另一方面，在西部地区政策可侧重支持冷链物流数字化以克服地理约束，在产销平衡区则应聚焦于提升跨环节的业务协同效率，全面提升农业产业链韧性。

第三，针对协同驱动型（组态H3）主要分布在数字基础好、要素集聚的东部地区及粮食主销区，政策应致力于营造多维融合的农业数字化生态系统。一方面，要协同推进数字基础设施、农业科技研发平台、数字普惠金融，以及农民数字技能培训，破除部门与领域间的融合壁垒。另一方面，政府应从主导投入转向引导赋能，通过构建开放协同的数字环境，促进技术、组织、资本、人才等多元要素的深度融合，形成能够自适应和快速响应复杂风险的市场化韧性生态系统，实现农业经济系统应对复杂风险能力的提升。

第四，针对数字技术驱动农业经济韧性的有效路径会随时间演进和区域差异而动态变化，依据区域功能定位与发展阶段建立动态政策调整机制，动态优化农业经济韧性提升策略，各级政府可以建立常态化的农业数字化与韧性动态监测评估体系，定期评估本地数字技术要素组合与农业经济韧性目标的匹配度，灵活调整数字技术内部要素实现协同组合，确保数字技术赋能策略能随内外条件变化而持续优化，从而实现农业经济韧性的长效提升。

4.3 局限与展望

本研究基于省级面板数据，从组态视角揭示了数字技术驱动农业经济韧性提升的多元路径及其时空异质性，但还存在一定局限：首先，对农业经济韧性多维内涵的差异化分析有待深化；其次，从微观视角进行案例剖析方面仍需加强。未来研究可构建多维韧性指标体系，结合具体案例进一步剖析典型组态的作用链条，并深入农业经济系统内部，探索数字技术驱动粮食作物与经济作物等不同类型作物韧性提升的差异化路径，为政策制定提供更精细化的产业视角支撑。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] 李义姝, 严奉宪. 农业产业集聚对农业经济韧性的影响研究——以长江中下游77个地级市为例[J]. 农业技术经济, 2025(4): 38-53.
LI Y S, YAN F X. The effect of agricultural industry agglomeration on agricultural economic resilience: A case study of 77 cities in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2025(4): 38-53.

[2] LI C M, YU G X, DENG H Y, et al. Spatio-temporal pattern and the evolution of the distributional dynamics of county-level agricultural economic resilience in China[J]. PLoS One, 2024, 19(5): e0300601.

[3] QUAN T S, ZHANG H, QUAN T L, et al. Unveiling the impact and mechanism of digital technology on agricultural economic resilience[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2024, 22(2): 136-145.

[4] SARGANI G R, WANG B W, LEGHARI S J, et al. Is digital transformation the key to agricultural strength: A novel approach to productivity and supply chain resilience[J]. Smart Agricultural Technology, 2025, 10: 100838.

[5] DEICHMANN U, GOYAL A, MISHRA D. Will digital technologies transform agriculture in developing countries [J]. Agricultural Economics, 2016, 47(S1): 21-33.

[6] ABIRI R, RIZAN N, BALASUNDRAM S K, et al. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity[J]. Heliyon, 2023, 9(12): e22601.

[7] LENG X. Digital revolution and rural family income: Evidence from China[J]. Journal of Rural Studies, 2022, 94: 336-343.

[8] CELLINI R, TORRISI G. Regional resilience in Italy: A very long-run analysis[J]. Regional Studies, 2014, 48(11): 1779-1796.

[9] LUO L, NIE Q, JIANG Y Y, et al. Spatiotemporal dynamics and spatial spillover effects of resilience in China's agricultural economy[J]. Agriculture, 2024, 14(9): 1522.

[10] ZHOU J, CHEN H P, BAI Q Y, et al. Can the integration of rural industries help strengthen China's agricultural economic resilience [J]. Agriculture, 2023, 13(9): 1813.

[11] 骆耀峰, 韩淼, 王征兵. 数字化对农业经济韧性的作用及机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2026, 26(2): 121-135.
LUO Y F, HAN M, WANG Z B. The impact and mechanisms of agricultural digitalization on agricultural economic resilience[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2026, 26(2): 121-135.

[12] 刘威, 吴芮, 郑雪丽, 等. 数字经济对粮食生产韧性的影响及作用机制检验[J]. 统计与决策, 2026, 42(2): 123-128.
LIU W, WU R, ZHENG X L, et al. An Examination of the impact and mechanism of the digital economy on the resilience of food production[J]. Statistics & Decision, 2026, 42(2): 123-128.

[13] 田野, 王伟, 黄进. 数字经济对农业绿色发展韧性的影响研究[J]. 农业技术经济, 2025(10): 130-144.
TIAN Y, WANG W, HUANG J. The impact of digital economy

on the resilience of agricultural green development[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2025(10): 130-144.

[14] 邱书钦, 蔡臣臣, 谭宓. 数字经济赋能农业产业链韧性提升的实证检验[J]. 统计与决策, 2026, 42(1): 129-134.
QIU S Q, CAI C C, TAN M. Empirical test on the enhancement of the resilience of the agricultural supply chain through digital economy[J]. Statistics & Decision, 2026, 42(1): 129-134.

[15] 季晨, 陈月涓, 卓妮. 全产业链数字化如何提升涉农企业韧性: 基于青莲食品的案例研究[J]. 农业经济问题, 2025(12): 58-75.
JI C, CHEN Y J, ZHUO N. How full industrial chain digitalization improve the resilience of agricultural-related enterprises: A case study based on qinglian food co., ltd[J]. Issues in Agricultural Economy, 2025(12): 58-75.

[16] 宋瑛, 付俊治, 张驰. 数字技术创新能否提升农业供应链韧性——来自涉农上市企业的经验证据[J]. 中国农村经济, 2025(11): 83-102.
SONG Y, FU J Z, ZHANG C. Can digital technology innovation enhance the resilience of agricultural supply Chains: Empirical evidence from agricultural listed companies[J]. Chinese Rural Economy, 2025(11): 83-102.

[17] 贺亚亚, 陈真, 周迪. 数字乡村建设提升农业产业链韧性的效应、机理与路径研究[J/OL]. 中国农业资源与区划. (2025-10-21) [2026-01-30]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail. aspx filename=ZGNZ2025102000I&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
HE Y Y, CHEN Z, ZHOU D. The effects, mechanisms and paths of digital rural construction on enhancing the resilience of the agricultural industry Chain[J/OL]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning. (2025-10-21) [2026-01-30]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail. aspx filename=ZGNZ2025102000I&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[18] 王永静, 贾淑芳, 纪阳阳. 乡村数字化影响农业韧性的理论机制与实证检验[J]. 统计与决策, 2025, 41(24): 87-93.
WANG Y J, JIA S F, JI Y Y. Theoretical mechanism and empirical test of the impact of rural digitalization on agricultural resilience[J]. Statistics & Decision, 2025, 41(24): 87-93.

[19] 廖祖君, 曲天天. 县域数字接入与农业经济韧性提升[J]. 山西财经大学学报, 2025, 47(9): 15-28.
LIAO Z J, QU T T. County-level digital access and agricultural economic resilience[J]. Journal of Shanxi University of Finance and Economics, 2025, 47(9): 15-28.

[20] TORNATZKY L G, FLEISCHER M, CHAKRABARTI A K. The processes of technological innovation[M]. Lexington, Mass.: Lexington Books, 1990.

[21] 刘继芳, 周向阳, 李敏, 等. 人工智能驱动畜牧新质生产力高质量发展: 制约因素、生成逻辑与推进路径[J]. 智慧农业(中英文), 2025, 7(1): 165-177.
LIU J F, ZHOU X Y, LI M, et al. Artificial intelligence-driven high-quality development of new-quality productivity in animal husbandry: Restraining factors, generation logic and promotion paths[J]. Smart Agriculture, 2025, 7(1): 165-177.

[22] 阳镇, 凤欣, 陈劲. 风险资本投资如何助力企业关键核心技术创新[J]. 上海财经大学学报(哲学社会科学版), 2025, 27(6): 3-16.
YANG Z, FENG X, CHEN J. How does venture capital investment contribute to the key core technology innovation in enterprises [J]. Journal of Shanghai University of Finance and Economics, 2025, 27(6): 3-16.

[23] 孟维福, 陈乐鑫, 任碧云. 数字基础设施建设对农业经济韧性的影响——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J/OL]. 河北经贸大学学报. (2026-01-07) [2026-01-30]. https://doi. org/10.14178/j.cnki.issn1007-2101.20260107.005.
MENG W F, CHEN L X, REN B Y. The impact of digital infrastructure construction on agricultural economic resilience: A quasi-natural experiment based on the "broadband China" strategy[J/OL]. Journal of Hebei University of Economics and Business. (2026-01-07) [2026-01-30]. https://doi.org/10.14178/j.cnki.issn1007-2101.20260107.005.

[24] 叶鹏林, 闵超, 苟良杰, 等. 农作物病虫害自监督适应性多模态特征融合识别方法[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(1): 72-85.
YE P L, MIN C, GOU L J, et al. Self-supervised adaptive multimodal feature fusion recognition of crop diseases and pests[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(1): 72-85.

[25] 王妍霏, 叶举, 曹杰. 农村流通数字化影响粮食体系韧性的机理及效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(2): 423-436.
WANG Y F, YE J, CAO J. Mechanism and effect of digitalization of rural circulation on the resilience of grain system[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2025, 34(2): 423-436.

[26] 杨威, 傅新红. 数字化何以驱动县域农业经济增长——基于创新生态系统理论的组态分析[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(4): 293-306.
YANG W, FU X H. How does digitization drive county agricultural economic growth: A configuration analysis based on innovation ecosystem theory[J]. Journal of China Agricultural University, 2026, 31(4): 293-306.

[27] 王杰, 梅良豪. 塑造数字新农人: 农民数字化转型的驱动逻辑[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2025, 25(2): 9-19.
WANG J, MEI L H. Shaping digital new farmers: The driving logic of farmers' digital transformation[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2025, 25(2): 9-19.

[28] 武永超, 王磊. 制度逻辑视角下农业新质生产力培育路径研究——基于动态QCA的分析[J]. 管理学刊, 2025, 38(3): 75-84.
WU Y C, WANG L. Research on the cultivation path of agricultural new quality productivity under the perspective of institutional logic: Analysis based on dynamic QCA[J]. Journal of Management, 2025, 38(3): 75-84.

[29] WANG H M, XU Y H, WEI X J. Rural resilience evaluation and influencing factor analysis based on geographical detector method and multiscale geographically weighted regression[J]. Land, 2023, 12(7): 1270.

[30] QI H M, HUANG Z Z, ZHANG L L, et al. Research on the configuration path of regional innovation: Dynamic QCA analysis based on Chinese county-level panel data[J]. Procedia Computer Science, 2025, 266: 1279-1286.

[31] FAN X N, REN S N, LIU Y. The driving factors of green technology innovation efficiency: A study based on the dynamic QCA method[J]. Sustainability, 2023, 15(12): 9845.

[32] 邢澜, 张广海, 王小华, 等. 新质生产力赋能海洋旅游韧性发展的多元路径探析——基于动态QCA方法[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(5): 200-212.
XING L, ZHANG G H, WANG X H, et al. Multiple paths of new quality productivity empowering marine tourism resilience: Based on dynamic QCA[J]. China Population, Resources and Environment, 2025, 35(5): 200-212.

[33] DUL J. Necessary condition analysis (NCA): Logic and methodology of 'necessary but not sufficient' causality[J]. Organizational Research Methods, 2016, 19(1):10-52.

[34] 胡海晨, 赵瑞彤, 杨濛, 等. 数实融合演进中新质生产力发展路径——基于动态QCA的分析[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(22): 37-47.
HU H C, ZHAO R T, YANG M, et al. The path of new quality productive forces generated in the integration of digital and real economy: An analysis based on dynamic QCA[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2024, 41(22): 37-47.

[35] 杨果, 万凌霄. 数字技术赋能农业高质量发展: 作用机制与效应[J]. 经济体制改革, 2025(6): 191-200.
YANG G, WAN L X. Digital technology empowering high-quality agricultural development: Mechanisms and effects analysis[J]. Reform of Economic System, 2025(6): 191-200.

[36] 林大燕, 朱晶. 从供应弹性的视角看我国主要农作物种植结构变化原因[J]. 农业技术经济, 2015(1): 33-41.
LIN D Y, ZHU J. From the perspective of supply elasticity, the reasons for the changes in the planting structure of major crops in China[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015(1): 33-41.

[37] 杜运周, 刘秋辰, 程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度——基于制度组态的分析[J]. 管理世界, 2020, 36(9): 141-155.
DU Y Z, LIU Q C, CHENG J Q. What kind of ecosystem for doing business will contribute to city-level high entrepreneurial Activity: A research based on institutional configurations[J]. Management World, 2020, 36(9): 141-155.

Multiple Pathways of Digital Technology Driving the Enhancement of Agricultural Economic Resilience

DAI Xin, HAN Rui, JIANG Xiaoyu, LI Zhong*

(*Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Agriculture Information Institute of CAAS*, *Beijing* 100080, *China*)

Abstract: [Objective] Enhancing agricultural economic resilience is critical for ensuring national food security, advancing agricultural modernization, and responding to increasingly complex external shocks. Against the backdrop of rapid digital economy development, digital technologies are progressively becoming a key driver of agricultural economic resilience by reshaping production patterns, optimizing resource allocation, and strengthening risk-response capacity. However, existing studies are predominantly grounded in linear analytical frameworks, which are insufficient to capture the complex mechanisms of multi-dimensional factor interactions, and they pay limited attention to spatiotemporal heterogeneity. In this context, a configurational perspective is adopted to systematically examine how agricultural economic resilience is enhanced through the synergistic interaction of multiple factors by digital technologies. The aim is to provide a more comprehensive theoretical basis for formulating differentiated digital agriculture development policies. **[Methods]** Based on the technology-organization-environment (TOE) framework, an analytical model was constructed for digital technology-driven agricultural economic resilience. Using provincial panel data from China spanning 2011 to 2023, a dynamic qualitative comparative analysis (QCA) approach was employed to identify multiple configurational pathways linking combinations of conditions to agricultural economic resilience. Specifically, necessity analysis was first conducted to examine whether any single antecedent condition was a necessary condition for the outcome. Second, configurational analysis was used to identify multiple equifinal pathways through which different combinations of conditions generate high agricultural economic resilience. Third, between-group and within-group analyses were further conducted to examine the temporal evolution and spatial heterogeneity of these configurational pathways. In addition, robustness tests were performed by adjusting the original consistency threshold, frequency threshold, and the threshold of proportional reduction in inconsistency to validate the stability of the identified configurations. **[Results and Discussions]** (1) A single digital technology factor was not a necessary condition for achieving high agricultural economic resilience. Instead, resilience improvement depended on the coordinated configuration of multiple dimensions, exhibiting a typical "multiple concurrent causality" characteristic. (2) Five effective configurational pathways were identified for enhancing agricultural economic resilience through digital technologies. These pathways were further summarized into three typologies: policy-market dual-driven type, production-chain enabling type, and synergistic driving type, reflecting the equifinality of different condition combinations. (3) The configurational pathways exhibited pronounced spatiotemporal heterogeneity. Temporally, the effects of certain pathways evolved dynamically with the deepening penetration of digital technologies. Spatially, due to differences in resource endowments, Eastern, Central, and Western regions, as well as different grain functional zones, corresponded to distinct dominant pathways. In terms of regional heterogeneity, production-chain enabling and synergistic driving pathways were mainly concentrated in Western and Eastern regions. In terms of grain functional zoning, the policy-market dual-driven pathway was primarily observed in major grain-producing and balanced production-marketing areas, while production-chain enabling and synergistic driving pathways were more prevalent in major marketing and balanced production-marketing regions. **[Conclusions]** The results demonstrate that there is no single optimal pathway for enhancing agricultural economic resilience; rather, it fundamentally depends on the effective synergistic configuration of multiple factors under specific contexts. As a core driving force, digital technology must be aligned with institutional environments, organizational capabilities, and resource endowments to fully realize its enabling effects. Meanwhile, regional heterogeneity further shapes the diversity of digital technology's impact pathways, implying that different regions should adopt development models tailored to their own conditions and continuously optimize them dynamically. From a configurational perspective, the results reveal the multi-path mechanisms through which digital technologies enhance agricultural economic resilience, enrich the existing theoretical literature, and provide important policy implications for implementing differentiated strategies, optimizing digital agriculture development pathways, and strengthening agricultural system resilience.

Keywords: digital technology; agricultural economic resilience; dynamic qualitative comparative analysis; temporal effects; spatial effects; technology-organization-environment framework

Foundation items: Special Fund for Basic Scientific Research Business Expenses of the Chinese Academy of Agricultural Sciences (JBYW-AII-2026-16, JBYW-AII-2026-74); National Key Research and Development Program of China (2022YFD2001305)

First authors: 1. DAI Xin, E-mail: daixin@caas.cn; 2. HAN Rui, E-mail: hanrui01@caas.cn

***Corresponding author:** LI Zhong, E-mail: lizhong@caas.cn