

中国数字经济与农业融合发展水平测度与评价*

王定祥^{1,2} 彭政钦¹ 李伶俐¹

摘要：本文以马克思产业资本循环理论为基础，从融合的基础设施条件、融合发展的主体和环境以及融合发展的过程三个维度，深入分析数字经济与农业融合发展的逻辑。在此基础上，本文构建了数字经济与农业融合发展评价指标体系，采用2011—2020年中国29个省份的面板数据，使用层次分析法与CRITIC权重法相结合的主客观组合赋权法、Dagum基尼系数测算与分解、Kernel密度估计、Moran's I指数分析等方法，对数字经济与农业融合的发展水平、区域差异、时空演化以及空间关联进行了测度与分析。研究发现：中国数字经济与农业融合发展水平在研究期内逐步提升，但整体水平较低；数字经济与农业融合发展水平在四大经济区域和三大粮食功能区存在明显差异；数字经济与农业融合的基础设施条件、融合发展的过程、融合发展的主体和环境三个维度的指数值从高到低依次递减，且融合发展的过程维度的指数值增速最大；数字经济与农业融合发展水平的区域总体差异存在扩大趋势，区域间差异是总体差异的主要来源；各区域内大部分省份之间数字经济与农业融合发展水平的差距逐渐扩大，但极化现象明显减弱；数字经济与农业融合发展水平存在显著的空间正相关性，但该特征仅在东部地区和粮食主产区的部分年份才有所表现。

关键词：数字经济 农业 融合发展

中图分类号：F320；F323 **文献标识码：**A

一、引言

随着全球百年未有之大变局的加速演进，世界各国都在积极寻觅解决经济发展难题、引领未来经济增长的新动能。以大数据、人工智能、区块链、互联网等数字技术为核心的数字经济日益融入经济社会各领域，不仅推动了各国人民日常生活的数字化转型，还能够系统性重整全球要素资源，重塑全

*本文研究受到国家社会科学基金一般项目“贫困脆弱性视角下脱贫户返贫风险的测度、预警及阻断机制研究”（编号：21BGL211）、西南大学阐释党的二十大精神专项项目“中国式金融现代化推动共同富裕的逻辑机理与路径优化研究”（编号：SWU2209025）和“西南大学创新研究2035先导计划”（编号：SWUPilotPlan026）的资助。感谢匿名审稿专家的宝贵意见，同时感谢西南大学经济管理学院梁义娟、张林两位老师在本文修改过程中提供的帮助，但文责自负。本文通讯作者：彭政钦。

球产业链、供应链和价值链，重构全球经济版图，对世界产生了重大而深远的影响^①。作为一种全新的经济形态，数字经济主要通过新技术产生新产业、新产业催生新模式和新技术赋能传统产业三条途径推动传统经济的数字化转型，进而促进经济新动能的形成（陈晓红等，2022）。本文认为，新技术赋能传统产业是有效破除环境和资源约束、推动传统产业结构升级、使中国从经济大国迈向经济强国的重要方式。对此，习近平明确指示：“要推动数字经济和实体经济融合发展，把握数字化、网络化、智能化方向，推动制造业、服务业、农业等产业数字化，利用互联网新技术对传统产业进行全方位、全链条的改造，提高全要素生产率，发挥数字技术对经济发展的放大、叠加、倍增作用。”^②这一重要论述表明，数字经济与实体经济融合发展的实质是以数字化、智能化为导向，推动传统产业转型升级，实现实体经济高质量发展。

农业是“国之大者”。推动数字经济与农业的融合发展既是新时代实现乡村全面振兴的实然之举，也是建设农业强国的重要途径。党中央、国务院高度重视数字经济与农业的融合发展，在“数字农业”“乡村振兴”等方面进行决策部署，出台了《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》，强调要大力推进数字农业发展和数字乡村建设。为此，有关部门相继出台了《乡村振兴战略规划（2018—2022）》《数字乡村发展战略纲要》《数字农业农村发展规划（2019—2025年）》等政策文件，提出要加快农业信息化建设和数字化转型进程，加快构建“互联网+”现代农业产业体系，充分释放数字经济红利，提升农业全产业链综合竞争力。中国正处于巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的重要交汇期，在农业发展中充分发挥数字技术和数据要素的核心效能，不仅可以推动传统农业与二、三产业的融合发展，还能重构农业生产、加工、销售、旅游等全产业链体系，缓解农业资源约束，提高农业生产经营效率，促进农业产业结构升级。当前，数字经济与农业融合发展既面临数字化转型成本高、数字人才规模小、数字基础设施不完善、数字技术应用场景缺失等障碍，也存在融合速度和程度的明显差异。深入剖析数字经济与农业融合发展的逻辑，科学测评数字经济与农业融合发展水平，对进一步推动数字经济与农业深度融合、提升农业现代化水平有重要意义。

围绕数字经济与农业融合发展，学术界展开了充分的研究，涌现出丰富的研究成果。已有研究主要从数字技术、数据要素和数字载体出发，探讨数字经济如何与农业融合进而推动农业高质量发展。随着数字红利的不断释放，数字经济可以为传统农业赋能的观点已是学术界的共识，数字经济与农业融合发展是突破传统农业发展瓶颈、加快实现农业现代化的重要手段（夏显力等，2019）。农业经营主体愿意推动农业数字化转型，是因为数字技术能够带来经济机会（易法敏等，2023）。在大数据、云计算、区块链等数字技术的赋能下，传统农业生产经营将在生产主体能力、生产技术、产品销售渠道、生产组织形态等方面发生重大转变（杜志雄和胡凌啸，2023）。数据作为新型生产要素和数字经济的核心要素，可以通过降低信息不对称程度、优化要素配置和推动产业结构升级等方式创造价值

^①习近平，2022：《不断做强做优做大中国数字经济》，《求是》第2期，第4-8页。

^②资料来源：《习近平主持中央政治局第三十四次集体学习：把握数字经济发展趋势和规律 推动我国数字经济健康发展》，http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/19/content_5643653.htm?jump=true。

(Goldfarb and Tucker, 2019)。在农业发展中,将数据要素与农业全产业链结合,有助于重构农业生产要素配置体系、提升农业生产经营效益、破除农业治理瓶颈,为农业现代化发展提供新动力(农业农村部信息中心课题组等,2021)。然而,数字技术和数据要素要在农业发展中发挥效能,离不开互联网等现代信息网络载体。互联网平台可以为农业生产和销售等环节提供更高效更优质的服务,不仅能推动农业智能化和协作化,提升农业全要素生产率,还能加快农产品的销售进程,实现农产品价值的快速变现(张在一和毛学峰,2020)。随着数字经济对农业的大范围渗透,发达国家通过实践探索形成了精准农业、数字农业和订单农业三大模式。中国结合自身发展实际,则探索出“互联网+”农业全产业链、智慧农业等数字经济与农业融合发展的模式(温涛和陈一明,2020),同时还涌现“盒马村”“网易味央猪”“京东农场”等数字经济与农业融合的典型案列。

此外,少数学者对数字经济与农业融合发展评价指标体系进行了初步探索,主要聚焦在指标构建、评测方法和结果分析等方面。从指标构建看,已有研究均以政策文件和权威文献为指导,基于数据的可得性选择指标,二级指标差异较大。部分学者仅在数字乡村评价指标体系中涉及农业数字化问题(朱红根和陈晖,2023)。从评测方法看,多数学者采用熵权法(慕娟和马立平,2021;张旺和白永秀,2022;朱红根和陈晖,2023),少数学者采用AHP-EM组合赋权法(张鸿等,2021)。从结果分析看,现有研究普遍集中在分析数字农业发展水平的区域差异和空间关联方面(朱红根和陈晖,2023)。

综上所述,学界在数字经济与农业融合发展的内在机理和实践模式等方面进行了大量研究,对数字经济与农业融合发展水平的测度进行了初步探索,取得了一定的理论成果和实践经验,为本文提供了良好的研究基础。但相关研究仍存在一些不足:第一,多数研究或是聚焦于数字经济与农业融合发展的某一细分领域,或是进行个案分析,从全局出发系统剖析数字经济与农业融合发展逻辑的文献较少;第二,现有文献往往从理论出发探讨数字经济与农业融合发展相关问题,较少从实证角度测度数字经济与农业融合发展水平,且现有关于数字农业农村发展水平测度的研究存在指标体系涵盖面不足、研究内容不全面等问题,无法客观反映数字经济与农业融合发展的实际水平。上述不足成为本文展开进一步研究的出发点。本文的边际贡献在于:第一,基于马克思产业资本循环理论,深入剖析数字经济与农业融合发展的逻辑;第二,充分结合宏观政策、理论成果以及现实情况,从融合的基础设施条件、融合发展的主体和环境以及融合发展的过程三个维度构建数字经济与农业融合发展评价指标体系,并基于2011—2020年中国29个省份的面板数据测度各省份数字经济与农业融合发展水平;第三,在四大经济区域^①基础上,对三大粮食功能区^②进行异质性分析,并运用Dagum基尼系数测算与分解、

^①东部地区:北京市、天津市、河北省、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省、海南省;东北地区:辽宁省、吉林省、黑龙江省;中部地区:山西省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省;西部地区:内蒙古自治区、广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

^②粮食主产区:河北省、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑龙江省、江苏省、安徽省、江西省、山东省、河南省、湖北省、湖南省、四川省;粮食主销区:北京市、天津市、浙江省、福建省、广东省、海南省;粮食产销平衡区:山西省、广西壮族自治区、重庆市、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

Kernel 密度估计、Moran's I 指数分析等方法分析数字经济与农业融合发展的时空差异。

二、数字经济与农业融合发展：理论内涵与逻辑

（一）数字经济与农业融合发展理论内涵

“数字经济”一词最早由 Tapscott（1996）在其著作《数字经济：网络智能时代的前景与风险》中提出。1998年，美国商务部发布《浮现中的数字经济》系列报告，揭示了数字经济发展的基本架构。随着数字经济的不断发展，其内涵和外延也不断丰富。对数字经济的早期定义主要关注数字技术生产力及其应用，后来则重点关注数字技术应用的经济后果及其对生产关系的重构。然而，理论与实践界对数字经济的内涵至今未形成共识（陈晓红等，2022）。各国政府部门、社会机构和专家学者均认为数字经济有广义和狭义之分。狭义数字经济是指从传统国民经济产业中分离出来的独立的数字经济核心产业（许宪春和张美慧，2020），主要包括数字产品制造业、软件和信息技术服务业、卫星通信产业、互联网和相关服务业等。这些产业通过为国民经济的其他行业提供数据要素、数字技术和数字产品，推动了其他行业的数字化转型并从中实现自身发展。中国国家统计局从广义角度将数字经济界定为：以数据资源作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动^①。中国信息通信研究院将广义数字经济划分为数据价值化、数字产业化、产业数字化和治理数字化四部分内容^②。以将数据资源转化为数据资产和数据资本为主要内容的数据价值化，以数字技术创新和数字产品生产供应为主要内容的数字产业化，往往被归属于狭义数字经济范畴。数据价值化是数字产业化的基础，因而可将数据价值化归属到数字产业化中。于是，狭义数字经济被概括为通过数字产业化形成的产业部门，与传统实体经济部门相对应。本文的研究对象为数字经济与农业融合发展，适宜使用数字经济的狭义定义。

作为国民经济基础的农业，是人类利用土地的自然生产力和其他农业资源环境条件，栽培植物或饲养动物，以获得所需产品的生产经营过程，是自然再生产与经济再生产有机统一的过程。广义农业包括种植业、林业、畜牧业、渔业和副业五种业态，而狭义农业仅指种植业。本文讨论的是广义农业，能够进行数字化生产经营的种养殖业和渔业都涵盖其中。与美国等西方农业强国相比，中国农业发展面临农业产出效率低、产业结构失衡、农产品国际竞争力弱、科技创新能力不强、受环境和资源约束较大等问题（金文成和靳少泽，2023）。这些问题严重影响农产品质量及其有效供给，对中国粮食安全形成了挑战。推动数字经济与农业深度融合发展，已成为中国农业发展方式转变的基本方向。

所谓数字经济与农业融合发展，是指在一定的融合基础设施和良好的产业发展环境支撑下，数字经济部门为适应农业发展特征及其转型发展需求而向农业部门供给数字技术和数据要素，并通过数字技术和数据要素的推广应用与后续服务，助力农业经营主体改造农业采购、生产、销售等环节，最终

^①资料来源：《〈数字经济及其核心产业统计分类（2021）〉（国家统计局令第33号）》，http://www.stats.gov.cn/xxgk/tjfbz/gjtjfbz/202106/t20210603_1818135.html。

^②资料来源：《中国数字经济发展白皮书（2020年）》，http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202007/t20200702_285535.htm。

实现农业数字化发展的过程。虽然数字经济与农业融合发展包含农业数字化发展的核心意涵——对农业生产经营各环节进行数字化改造，但也有明显差异：首先，农业数字化只是实现数字经济与农业融合发展的手段，重点在于揭示农业经营主体对数字技术和数据要素的运用程度，忽视了数字经济部门和外部发展环境的客观作用。数字经济与农业融合发展则更多强调数字经济部门立足农业数字化发展对数字技术和数据要素的需求特征，积极创新和有效供给数字技术，并提供后续技术服务，对农业生产经营各环节进行数字化改造。因而，数字经济与农业融合发展是对农业数字化发展过程及其技术支撑的全面揭示。其次，农业数字化程度用农业数字化增加值与农业总增加值的比重就可以简单衡量，而数字经济与农业融合发展进程涉及复杂的系统，需要对融合发展的主体和环境、融合发展的过程等维度进行统计监测。最后，从技术创新、试点、推广应用的逻辑看，中国数字经济和农业数字化发展均处于起步阶段，在实践和政策层面要特别强调数字经济与农业的融合发展。因为农业经营主体尚缺乏对数字技术和数据要素应用的系统性认识，需要数字经济部门开发一些在农业领域中的数字技术和数据要素应用场景，形成明显的降本增效示范效应，增强农业经营主体对学习和应用数字技术和数据要素的信心，从而逐渐改变他们的农业技术偏好。综上所述，与直接监测农业数字化发展程度相比，监测数字经济与农业融合发展态势更符合当前推动数字经济与实体经济融合发展的客观需要，这也正是本文将“数字经济与农业融合发展”作为研究主题的主要原因。

（二）数字经济与农业融合发展的逻辑

如前所述，数字经济与农业融合（以下简称“数农融合”）发展是在具备融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境的情况下，农业经营主体购买与运用数字技术和数据要素，对农业生产经营各环节进行要素革新、要素重组、模式转型和精准管理的过程。这既能孵化出农业新业态、革新农业生产经营方式、深化农业分工，也能提升农业内外循环发展效能，促进农业产业资本的良性循环与可持续发展。数农融合发展的实现逻辑如图 1 所示。

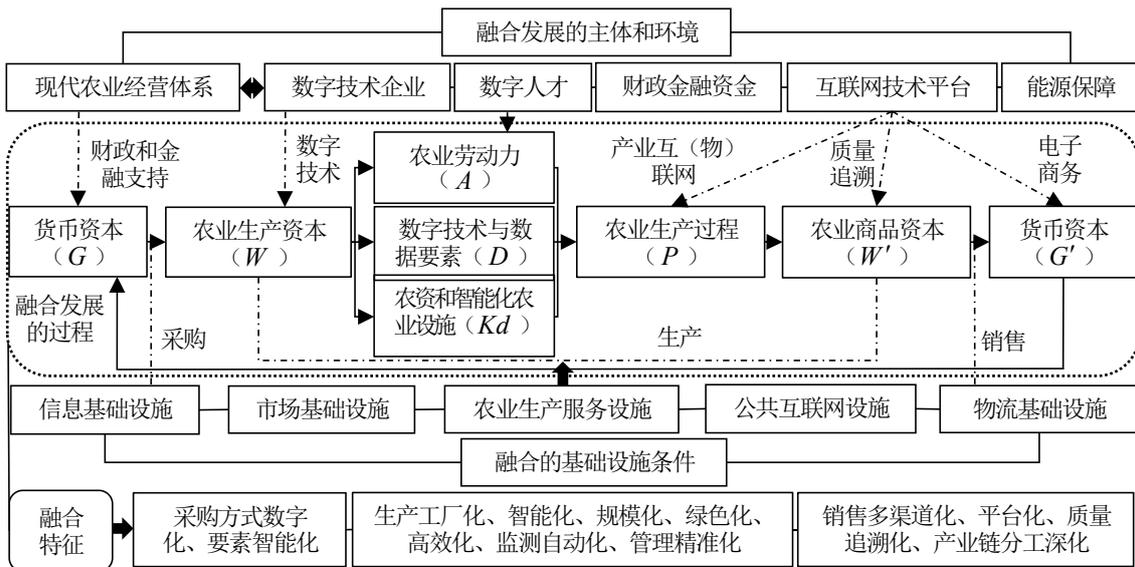


图 1 数字经济与农业融合发展的逻辑

从图 1 可知, 实现数农融合发展, 既要创造融合的基础设施条件, 也要培育有利于融合发展的主体和环境。其中, 融合的基础设施条件主要包括: 收集、传递、处理农业信息和推广数字技术的邮电、通信、5G 基站、卫星、遥感等信息基础设施以及计算机、手机等信息收集工具; 开展数据要素交易、农用物资交易和农产品交易的场所、设备等市场基础设施; 开展农业数字化生产的农业水利、高标准农田、农业大棚、农业机械、农业气象等农业生产服务设施; 促进农业生产、农产品销售的公共互联网设施 and 现代交通物流、冷藏保鲜等物流基础设施。这些基础设施主要为数农融合发展提供公共基础条件与公共服务, 保障了数字技术、数据要素与农业生产经营更有效率地融合。融合发展的主体和环境主要包括: 有融合意愿和能力的若干农业经营主体; 有能力提供数字技术和数据要素的数字技术企业; 有数字技术人才培养体系的支撑; 有财政和金融资金的支持; 有产业互联网和消费互联网等平台企业的技术支撑; 有电力等基础能源供应的保障。这些融合发展的环境的主要功能是为农业经营主体推动数农融合发展提供技术、资金、人才等要素保障, 以及能源、政策等营商条件。

在具备上述融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境的情况下, 农业经营主体就会利用从外部采购的数字技术和数据要素对农业生产经营各环节进行数字化改造, 从而转变农业发展方式。实际上, 农业数字化改造过程与马克思产业资本循环理论^①所揭示的社会化大生产条件下产业资本循环运动、周而复始的动态过程及其规律是吻合的。马克思认为, 资本的逐利目标是通过一种循环的、不停顿的运动实现的。“在一个不断回轮的循环中, 每一点都同时是出发点和复归点。”^②在单个产业部门的投入与产出过程中, 马克思将资本划分为三种形态, 即货币资本、生产资本和商品资本, 分别对应购买、生产和销售阶段。在第一阶段, 企业使用货币资本 (G) 购买生产资料 (Pm) 和劳动力 (A) 等生产资本 (W), 为生产剩余价值做准备, 即 $G - W(Pm, A)$ 。在第二阶段, 企业将生产资料 (Pm) 和劳动力 (A) 投入生产 (P), 以形成具有剩余价值的商品资本 (W'), 即 $W(Pm, A) \cdots P \cdots W'$ 。在第三阶段, 企业销售新商品, 将商品资本 (W') 转化为货币资本 (G'), 实现剩余价值, 即 $W' - G'$ 。将上述三个阶段的公式串联起来便得到产业资本循环总公式, 即 $G - W(Pm, A) \cdots P \cdots W' - G'$ 。马克思的产业资本循环理论不仅揭示了产业资本在单个产业部门的形态转化, 也清楚地展示了产业资本的循环过程要依次经历购买、生产、销售等阶段。数农融合发展同样体现在农业产业资本循环的采购、生产和销售三个阶段, 下面分别予以分析。

第一阶段, 数字经济与农业采购环节的融合。农业经营主体将货币资本 (G) 转化为农业劳动力 (A)、农资和智能化农业设施 (Kd) 等农业生产资本 (W) 时, 通常会就近选择要素供应商, 采用线下交易方式进行小批量采购。然而, 无论是要素供应商还是采购方, 均受传统物理市场采购模式的时空限制。这不仅导致农业经营主体无法获取完整的市场信息, 缺乏对同质供应商的系统性对比, 难以准确判断农业生产要素质量和市场价格, 从而增加采购成本, 也会使要素供应商的客户群体相对受限。随着数字经济与农业采购环节的深度融合, 互联网等现代信息网络的使用打破了传统物理市场

^①资料来源: 《资本论》第 2 卷, 人民出版社 2004 年版, 第 31 页。

^②资料来源: 《资本论》第 2 卷, 人民出版社 2004 年版, 第 117 页。

的时空限制，降低了农业生产要素供需双方的信息不对称程度。新型农业经营主体不仅可以借助互联网平台对全国农资市场和人才招聘网进行概览和比对，获取价廉物美的农业生产资料，挑选优质的农业劳动力，还可以使用数字经济部门提供的数字技术升级改造原有的农业生产设施，建立农业投入品监管物联网系统，实时监测农业生产资料的仓储环境、库存数量、设备维护等情况，为在农业生产环节精准匹配生产要素提供技术保障。农业要素供应商既能通过互联网平台推广农资产品，拓展销售网络，从而扩大销售规模和提升营业利润，又能低成本地获取其他供应商的同质产品和准确的市场信息，有利于提升农资等要素的质量、维护市场价格稳定。可见，数字经济与农业采购环节融合的核心效能在于，丰富农业要素市场形态，降低农业经营主体与农资供应商的信息不对称程度，增加农业经营主体对农业要素市场的可选择性和比对性。这不仅能优化农业生产资本（ W ）的采购流程，提高采购效率，实现供需双方的精准匹配，降低采购过程中的交易费用，还能通过对农业要素市场海量数据的积累和对数据价值的挖掘提高农业要素市场透明度与可持续发展水平。

第二阶段，数字经济与农业生产环节的融合。传统小农生产以农民家庭分散生产为主，经营组织化和集约化程度较低、同质化程度较高、经营规模受限。传统小农生产更多依靠农户经验进行决策，缺乏量化的数据支撑，与现代农业生产经营严重脱节，容易引发环境污染、病虫害、供需错配等问题。推动小农生产向具有企业属性的新型农业经营主体转变，或与新型农业经营主体的农业生产经营过程接轨，有利于加快数字经济与农业生产环节的融合进程。新型农业经营主体可以运用智能传感控制系统等农资和智能化农业设施（ Kd ），采集和分析农业生产中积累的大数据（ D ），实现对农业生产“天空地”（航天遥感、航空遥感、地面物联网）一体化的动态监测和管理，以便采取配方施肥等更精准的管理措施，促进农资和智能化农业设施等资本要素（ Kd ）与劳动力（ A ）的最优匹配，使农业生产资本（ W ）更有效率地向包含有剩余价值的农业商品资本（ W' ）转化。以大田种植为例，在育种阶段，新型农业经营主体运用物联网、云计算、无人机等设备和手段，能通过云端实现对海量的育种和土壤信息的采集与分析，有利于选择合适的作物品种和种植区域。在作物种植和生长阶段，新型农业经营主体可以运用“5S”技术^①、传感器、物联网等手段，采集和分析农业生产环境数据，实时监测 O_2 和 CO_2 浓度、温度、湿度、光照等作物生长环境、营养情况和农田“四情”（墒情、苗情、虫情、灾情），通过计算机、智能手机等移动终端设备实现对农作物生长过程的远程精细化管理，确保农作物能在最佳环境条件下生长。在农作物收获阶段，新型农业经营主体通过使用数字农业机械进行全自动化作业，可以收集和汇聚更多的工况检测、作业计量等数据，提高农机作业质量，降低农机作业能耗。可见，数字经济与农业生产环节的融合，能够助力新型农业经营主体实现农业要素的最优配置，保护土壤生态，使其生产出更多绿色优质农产品，以满足消费者对高品质农产品的需求。

第三阶段，数字经济与农业销售环节的融合。推动农产品高效率流通是打通农产品从农田到餐桌“最后一公里”的关键。农产品具有典型的季节性、易腐性等特征，这使得农产品供应链与工业品供

^①5S 技术分别为：遥感技术（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）、数字摄影测量系统（DPS）和专家系统（ES）。

供应链存在本质差别。传统农产品供应链环节众多，从农业经营主体到消费者要经历多个流通环节。农产品供应链条较长、参与者较多、结构复杂，传统农产品销售存在消费群体单一、信息流通不畅、物流成本较高、流通效率较低等问题。加快数字经济与农产品销售环节的融合，有助于解决传统农产品销售面临的上述问题，提升农业商品资本向增值了的货币资本转化的速率。当前，数字经济与农产品销售环节融合的重要表现形式是应用消费互联网技术所形成的农产品电子商务。在农产品电商营销渠道，大数据、云计算、互联网等数字技术的应用打破了物理空间限制和单一消费者约束（涂勤和曹增栋，2022），新型农业经营主体可以将农产品销售到全国甚至海外，明显拓宽了客户群体和市场范围。同时，农产品电子商务将传统的渠道流通转化成现代的网状流通，衍生出消费者定制（C2B 或 C2F）、商家到商家（B2B）、线上线下融合（O2O）、商家到消费者（B2C）、农场直供（F2C）等农产品销售新模式。新型农业经营主体通过电商平台对农产品销售环节的实时数据进行收集、处理和分析，能够促进农业生产经营各环节有效衔接。在农产品运输方面，通过运用数字技术，新型农业经营主体能动态监测生鲜类农产品仓储物流环境，并利用温控系统和冷链技术对农产品进行保鲜处理，防止其腐烂变质，有利于提升购买者的消费体验。在农产品供需方面，新型农业经营主体可以利用数字技术挖掘海量市场数据的价值，提升对农产品需求变化的敏感度，及时调整生产决策，实现供需双方的精确匹配，打破传统农业“靠天收，靠天卖”的束缚，减少农产品滞销和浪费风险。在农产品质量安全方面，供需双方通过运用二维码、RFID 等技术，能对农产品质量和流通信息进行全流程追溯。可见，数字经济与农产品销售环节的融合，本质在于通过数字技术对农产品流通渠道、质量安全管理等方面进行全面赋能，革新农产品销售与质量安全追溯管理模式，加速农业产业资本循环增值进程。

三、数字经济与农业融合发展指标体系构建与测度

（一）指标体系构建

基于上述分析，结合指标遴选的科学性、典型性和可操作性原则，本文参考《2021 全国县域农业农村信息化发展水平评价报告》，数字农业高质量发展指数编制（张鸿等，2021）、农业农村数字经济发展指数编制（慕娟和马立平，2021）、中国数字乡村发展指数编制（朱红根和陈晖，2023）和数字经济—乡村振兴耦合指数编制（张旺和白永秀，2022）等成果，从融合的基础设施条件、融合发展的主体和环境以及融合发展的过程三个维度构建数农融合发展评价指标体系（详见表 1）。

表 1 数农融合发展评价指标体系

一级指标	二级指标	指标解释	权重
融合的基础设施条件	农村宽带普及比率	农村宽带接入用户数(户)/互联网宽带接入用户总数(户)	0.026
	农村家庭计算机拥有率	每百户农村住户计算机拥有量(台)	0.025
	农村家庭移动电话普及率	每百户农村住户移动电话拥有量(部)	0.029
	广播电视网络覆盖率	农村有线广播电视实际用户数(户)/农村家庭总户数(户)	0.029
	农村投递路线建设比率	农村投递路线长度(千米)/城市和农村投递路线总长度(千米)	0.035

表1 (续)

	农村邮电覆盖率	已通邮的行政村数(个)/行政村总数(个)	0.021
	农业气象观测站数量	农业气象观测站数量(个)	0.034
	农业机械化密度	农业机械总动力(千瓦)/农村人口数(人)	0.030
	设施农业发展密度	设施农业生产面积(平方米)/农村人口数(人)	0.035
融合发展的主体和环境	每平方公里拥有的新型农业经营主体数	农民合作社等新型农业经营主体数量(个)/农村土地面积(平方千米)	0.033
	财政支农强度	财政涉农支出金额(元)/人均GDP(元)	0.030
	金融支农强度	金融涉农贷款余额(元)/人均GDP(元)	0.027
	农业数字人才规模	农业科技活动人员数(人)/第一产业从业人员数(人)	0.035
	物联网信息技术投资力度	农村交通运输、仓储和邮政业固定资产投资总额(元)/农村固定资产投资总额(元)	0.029
	农业生产投资力度	农林牧渔业固定资产投资总额(元)/全社会固定资产投资总额(元)	0.032
	农村能源密度	农村用电量(千瓦时)/农村人口数(人)	0.023
	数字技术购买能力	农村人均可支配收入(元)/人均GDP(元)	0.026
	数字经济发展程度	数字经济基础部门营业收入(元)/人均GDP(元)	0.024
融合发展的过程	数字化采购	(农业从业人数/总就业人数)×电子商务采购额(元)/人均GDP(元)	0.075
	数字化生产	(农业从业人数/总就业人数)×使用互联网技术开展生产经营活动的企业数(个)	0.119
	数字化销售	(镇区及乡村消费品零售额/全社会消费品零售额)×实物商品网上零售额(元)/人均GDP(元)	0.112
	数字化服务	农村淘宝村数量(个)/行政村数量(个)	0.055
	数字化转型	涉农上市公司数字化转型词频总数(次)/涉农上市公司总数(家)	0.116

对数农融合发展的基础设施条件的刻画,主要集中在信息、物流和生产服务设施三个方面。本文用农村宽带普及比率、农村家庭计算机拥有率、农村家庭移动电话普及率和广播电视网络覆盖率衡量农村信息基础设施建设水平和信息收集工具普及情况,用农村投递路线建设比率和农村邮电覆盖率衡量农村物流基础设施建设水平,用农业气象观测站数量、农业机械化密度、设施农业发展密度衡量农业生产服务设施建设水平。

对数农融合发展的主体和环境的刻画,主要集中在融合主体、融合技术、融合要素、融合政策和融合能源等方面。本文用每平方公里拥有的新型农业经营主体数衡量有意愿和能力推动数农融合的需求主体的培育水平,用财政支农强度和金融支农强度衡量政府和市场促进数农融合的支持力度,用农业数字人才规模衡量数农融合技术人才培养水平,用物联网信息技术投资力度和农业生产投资力度衡量数农融合的固定资产投资水平,用农村能源密度衡量建设农业大数据平台等数字枢纽所需的能源保障水平,用数字技术购买能力衡量数农融合需求方对数字化改造成本的负担能力,用数字经济发展程

度衡量数农融合供给方对数字技术的供给能力。其中，用于计算数字经济发展程度的数字经济基础部门营业收入以计算机、通信与其他电子设备制造业以及软件与信息技术服务业两大部门的营业收入之和衡量（陈梦根和张鑫，2022），农村土地面积由各省行政区划面积减去建成区面积得到。

数农融合发展最终要体现在融合发展的过程中。本文用数字化采购指标衡量数字经济与农业采购环节的融合水平，用数字化生产指标衡量数字经济与农业生产环节的融合水平，用数字化销售指标衡量数字经济与农业销售环节的融合水平，用数字化服务^①指标衡量数农融合中的数字技术服务水平，用数字化转型^②指标衡量数字经济与农业各环节融合的整体水平。其中，数字化转型数据以各省 A 股涉农上市公司年报中数字化转型关键词词频总数除以涉农上市公司数量得到：首先，本文根据中国证监会《上市公司行业分类指引（2012）》，手工筛选出农林牧渔、制造业以及批发零售业等门类的涉农上市企业，剔除 ST、*ST 和 PT 样本，最终筛选出 306 家涉农上市企业。其次，参照吴非等（2021）对企业数字化转型关键词词群的设定，本文确定了人工智能技术、区块链技术、云计算技术、大数据技术和数字技术应用五大类关键词以及各类关键词中的细分指标。最后，使用 Python 软件从选取的涉农上市公司企业年报中抓取数字化转型关键词，剔除存在前置否定词的检索结果，将得到的数字化转型关键词词频分别汇总并除以涉农上市公司数量即得到数字化转型数据。由于数据限制，数字化采购、数字化生产和数字化销售的数据均不能直接获取。因此，本文以农业从业人数在总就业人数中的占比分别乘以电子商务采购额和通过互联网开展有关生产经营活动的企业数，得到农业部门数字化采购和数字化生产数据，以镇区及乡村消费品零售额在全社会消费品零售额中的占比乘以实物商品网上零售额，得到农业部门数字化销售数据。

（二）数据来源及处理

“十二五”规划明确提出“推进农业技术集成化、劳动过程机械化、生产经营信息化”^③。为了全面反映“十二五”以来数农融合发展的实际情况，本文将研究时期确定为 2011—2020 年。基于数据的可比性和可得性，暂不包括西藏、上海和港澳台地区。本文采用线性插值法补齐了部分地区和部分年份的缺失数据，对与价格有关的数据则以 2011 年为基期进行修正。

具体数据来源说明如下：设施农业发展情况数据来源于《中国农业机械工业年鉴》（2012—2021 年，历年），新型农业经营主体数据来源于《中国农村经营管理统计年报（2011—2018）》《中国农村合作经济统计年报》（2019—2020 年，历年），财政与金融支农情况数据来源于国泰安 CSMAR 数据库^④，物联网信息技术投资力度和镇区及乡村消费品零售额占全社会消费品零售额的比重数据来源

^①淘宝村是以淘宝网为主要交易平台、以淘宝电商生态系统为依托的网商集群现象（曾亿武和郭红东，2016），是数农融合发展的典型技术服务模式，故以淘宝村数量与行政村数量之比间接衡量数农融合发展过程中的数字技术服务水平。

^②涉农企业数字化转型是数农融合进程中数字技术渗透的重要表现。由于部分涉农企业并未对生产经营各环节的数字化程度进行一一统计，故本文以省域内涉农企业的数字化转型水平衡量数农融合发展转型过程。

^③参见《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要（全文）》，http://www.gov.cn/2011lh/content_1825838_2.htm。

^④国泰安 CSMAR 数据库网址：<https://www.gtarsc.com>。

于《中国农村统计年鉴》（2012—2021年，历年），计算机、通信与其他电子设备制造业营业收入数据来源于《中国工业统计年鉴》（2012—2017年，2020—2021年，历年），软件与信息技术服务业营业收入数据来源于《中国电子信息产业统计年鉴》（2011—2015年，历年；2017年，2019年）和《中国统计年鉴》（2017年，2019年，2021年），电子商务采购额和使用互联网技术开展生产经营活动的企业数数据来源于《中国第三产业统计年鉴》（2013—2021年，历年），农村淘宝村数量数据来源于《2020中国淘宝村研究报告》，其余数据均来源于《中国统计年鉴》（2012—2021年，历年）。

（三）数农融合发展水平综合指数计算方法

数农融合发展水平测度的关键是要解决指标体系设置及其权重问题。常用的赋权方法既包括层次分析法、专家打分法等主观赋权法，也包括熵值法、CRITIC权重法等客观赋权法。无论是主观还是客观赋权法，均有一定缺陷。主客观组合赋权法不仅充分考虑了指标体系的学理性，还能有效利用原始数据信息科学确定指标权重。因此，本文采用主客观组合赋权法确定数农融合发展水平各指标的权重，进而测度中国数农融合发展水平。其中，主观赋权法采用层次分析法，客观赋权法采用CRITIC权重法，最终权重以二者的算术平均计算得到。数农融合发展水平综合指数计算的具体步骤如下：

第一步，对原始数据进行无量纲化处理，具体方式为：

$$\text{正向指标: } Y_{i,t} = \frac{X_{i,t} - \min(X_{i,t})}{\max(X_{i,t}) - \min(X_{i,t})} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Y_{i,t} = \frac{\max(X_{i,t}) - X_{i,t}}{\max(X_{i,t}) - \min(X_{i,t})} \quad (2)$$

在（1）式和（2）式中： $X_{i,t}$ 表示第*i*个指标第*t*年的数值， $\max(X_{i,t})$ 和 $\min(X_{i,t})$ 分别表示第*i*个指标第*t*年的最大值和最小值， $Y_{i,t}$ 表示第*i*个指标第*t*年经过无量纲化处理后的数值。

第二步，采用层次分析法和CRITIC权重法相结合的主客观组合赋权法确定各指标权重：

1. 基于层次分析法（AHP）的主观赋权。首先，基于数农融合发展指标体系，建立层次结构模型，专家团队根据各指标的重要程度采用1~9标度法打分，并构造各层次各因素间的判断矩阵 $A = (\alpha_{ab})_{n \times n}$ 。

其中， α_{ab} 为指标*a*相对于指标*b*的重要程度，且 $\alpha_{ab} = 1/\alpha_{ba}$ 。然后，进行层次单排序和一致性检验，计算判断矩阵的一致性比率 CR ，通过一致性比率确定其是否通过一致性检验。其中， $CR = CI/RI$ ， $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ ， $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n [A\omega_i]/n\omega_i$ 为判断矩阵的最大特征值， ω_i 和*n*分别为判断矩阵的特征向量和阶数， RI 为随机一致性指标。一般地， $CR < 0.1$ ，表明判断矩阵通过了一致性检验，反之则不通过。最后，进行层次总排序和一致性检验。若通过，则可按总排序权重 W_{si} 进行决策。

2. 基于CRITIC权重法的客观赋权。首先，计算反映数农融合发展各指标变异程度的标准差 $S_i = \sqrt{\sum_{t=1}^n (X_{i,t} - \bar{X}_i)^2 / n - 1}$ ，其中 $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_{i,t}$ 。其次，以指标*i*与指标*j*的相关系数 r_{ij} 计算数农融合发展各指标的冲突性 $R_i = \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij})$ 。最后，计算指标*i*的信息量 $C_i = S_i \times R_i$ 和权重

$$W_{oi} = C_i / \sum_{i=1}^p C_i。$$

第三步，在上述赋权基础上，计算中国各省份数农融合发展水平综合指数：

$$I_{j,t} = \sum_{i=1}^n W_i Y_{i,t} \quad (3)$$

(3)式中： $I_{j,t}$ 表示 j 省份第 t 年数农融合发展水平综合指数， $W_i = (W_{si} + W_{oi})/2$ 表示指标 i 的组合权重。

(四) 测度结果分析

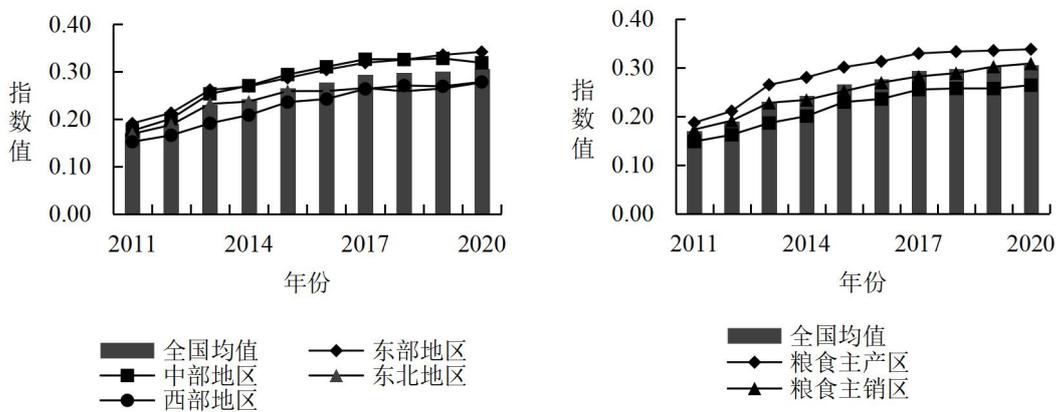
1.数农融合发展水平测度结果分析。本文运用层次分析法与CRITIC权重法相结合的主客观组合赋权法对上述评价指标体系进行测度，得出2011—2020年中国29个省（自治区、直辖市）数农融合发展水平综合指数^①。从全国整体看，数农融合发展水平的均值逐年上升，由2011年的0.170上升至2020年的0.306，年均增长6.75%，表明中国数农融合发展呈加速推进态势，农业正朝着数字化方向转型升级，但数农融合发展总体仍处于低水平状态（理论上，本文指数最高水平为1）。

从各省比较看，2011—2020年数农融合发展水平均值排名前三的省依次是广东（0.397）、山东（0.383）和江苏（0.363）。这三省正是中国数字技术创新能力较强、粮食产量排名靠前和经济发展水平较高的省份。排名倒数的三个省（直辖市）依次是海南（0.149）、天津（0.164）和青海（0.166）。这三个地区受本地农业资源禀赋与农业数字技术应用场景不足的约束，数字经济对农业生产经营各环节的改造严重滞后。融合发展水平增速（以下简称“融合增速”）排名前三的省（自治区）是位于西部和沿海地区的青海（9.64%）、广东（9.01%）和广西（8.83%），排名倒数的三个省（自治区、直辖市）是北京（3.34%）、山西（4.16%）和宁夏（4.64%）。这说明，在部分经济较发达的地区（如北京），农业并非地区经济的主导产业，数农融合的内生动力和后劲不足。而在部分经济较为落后的地区（如青海），虽然农业资源环境不佳，但可以通过打造数字农业工厂降低农业对土地和气象等资源环境的依赖，进而使数农融合表现出较强的后发优势。数农融合发展水平高于研究期内全国平均水平（0.257）的省（自治区）有广东、山东、江苏、河南、浙江、四川、湖北、河北、安徽、福建、湖南和广西，这些省份大多集中在经济较为发达的东中部地区，与它们大多属于粮食主产区的功能属性一致。融合增速高于全国平均水平（6.75%）的省（自治区、直辖市）有青海、广东、广西、安徽、贵州、四川、湖南、湖北、甘肃、重庆、河北、山东、福建、浙江和河南，区域分布较为均匀。显而易见，各省（自治区、直辖市）数农融合发展水平和融合增速差异较大，存在数农融合发展水平和融合增速“高一高”“高一低”“低一高”的现象。总体而言，全国各省（自治区、直辖市）数农融合发展均处于较低水平，这与中国小农经济占比较高、农业经营主体数字化转型意识较为落后、农村经济基础较为薄弱、农业数字技术人才不足、数字技术服务体系不健全等事实基本吻合。

从各个区域看，图2（a）显示，2011—2020年四大经济区域数农融合发展水平均值由高到低分别为东部（0.284）、中部（0.280）、东北（0.241）和西部地区（0.228），融合增速由高到低分别为西

^①篇幅所限，研究年份中国数字经济与农业融合发展水平测度结果未列出。

部（6.96%）、中部（6.86%）、东部（6.69%）和东北地区（5.67%）。图2（b）显示，2011—2020年三大粮食功能区数农融合发展水平均值由高到低分别为主产区（0.289）、主销区（0.253）和产销平衡区（0.219），融合增速由高到低也分别为主产区（6.79%）、主销区（6.66%）和产销平衡区（6.63%）。粮食主产区和粮食主销区主要集中在中国东中部地区，这些地区的数农融合发展水平远高于全国平均水平。东北地区同样是粮食主产区，西部地区是较为集中的粮食产销平衡区，两类地区数农融合发展水平相对较低，尤其是西部地区，与全国平均水平相差最大。不过，西部地区融合增速领跑全国，存在明显的追赶效应，其数农融合发展水平已逐渐接近东北地区。值得注意的是，东北地区数农融合发展水平和融合增速均较差，未来可能会进一步落后于其他地区。三大粮食功能区的数农融合发展水平差异明显，但融合增速较为接近。出现上述差异的根源在于，东部沿海地区农产品电子商务发达，数字技术创新应用和数字农业示范场景开发程度领先于全国其他地区^①，因而，这些地区的数农融合走在全国前列。粮食主产区主要是平原地区，农业资源禀赋较好，农业规模化、组织化程度较高，数农融合内生动力较强，拥有大量农业数字技术应用场景，可以实现大规模智能机械化、农业互联网集成化要素配置和农产品线上销售，加之较大的财政金融支农力度，从而数农融合发展较快。东北地区地理区位较差，数字技术服务体系不健全，难以吸引农业数字人才，即使拥有广袤的黑土地和高水平的农业机械总动力，也很难快速推动数农融合发展进程。西部地区山地特色高效农业、休闲农业居多，农业生产分散经营程度高，农业机械化程度低，数农融合内生动力不足，导致数农融合发展缓慢。



(a) 四大经济区域数农融合发展水平

(b) 三大粮食功能区数农融合发展水平

图2 2011—2020年中国四大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展水平

2.数农融合发展水平各维度测度结果分析。数农融合发展水平取决于三个维度的有效匹配。本文根据层次分析法和CRITIC权重法相结合的主客观组合赋权法求得各维度综合指数，目的在于分析各区域数农融合发展不同维度的优势与不足，测度结果如表2所示。

^①《2021全国县域数字农业农村电子商务发展报告》显示，2020年浙江省、广东省、江苏省的县域网络零售额在全国排名前三，三个省份县域网络零售额合计占全国县域网络零售额的61.5%，存在区域集中优势。

表2 2011—2020年数农融合发展各维度发展水平及排名

测度维度		四大经济区域				三大粮食功能区			全国
		东部	中部	东北部	西部	主产区	主销区	产销平衡区	
融合的基础设施条件	均值	0.122	0.121	0.125	0.111	0.128	0.113	0.108	0.118
	排名	2	3	1	4	1	2	3	
融合发展的主体和环境	增速	1.13%	2.53%	1.86%	3.96%	2.26%	1.04%	3.85%	2.51%
	排名	4	2	3	1	2	3	1	
融合发展的过程	均值	0.069	0.072	0.068	0.063	0.074	0.058	0.064	0.067
	排名	2	1	3	4	1	3	2	
融合发展的过程	增速	5.27%	5.49%	6.35%	5.50%	5.42%	5.79%	5.51%	5.52%
	排名	4	3	1	2	3	1	2	
融合发展的过程	均值	0.094	0.087	0.048	0.053	0.087	0.082	0.047	0.072
	排名	1	2	4	3	1	2	3	
融合发展的过程	增速	20.82%	20.44%	24.71%	22.12%	21.62%	20.37%	21.66%	21.29%
	排名	3	4	1	2	2	3	1	

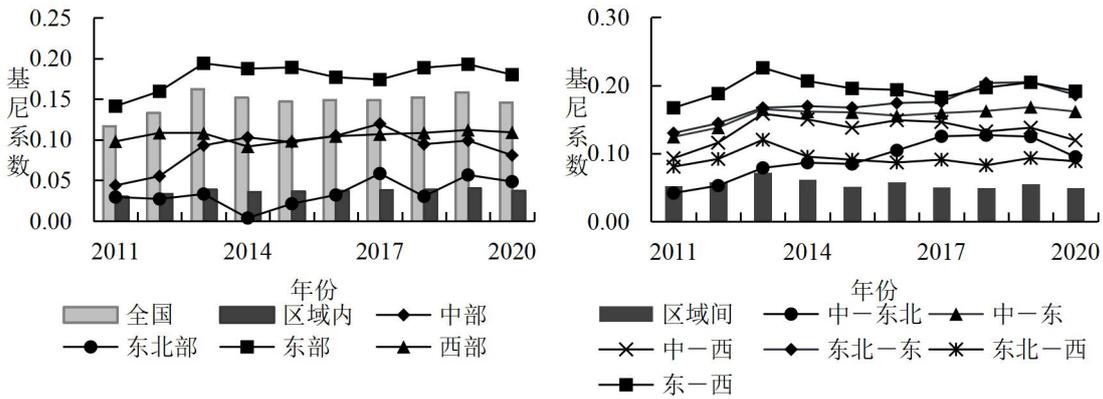
从区域比较看，东部地区在融合发展的过程维度明显领先其他区域。本文认为，东部地区较高的经济发展水平、较强的数农融合意识和地方财政支农能力、分布较为密集的数字技术企业，在数农融合发展的过程中发挥了引导性作用。而东部地区在融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境两个维度仅处于第二梯队，原因在于东部地区大多是粮食主销区，农用耕地少，农业在地区经济中占比较低，该地区的农业投资少于粮食主产区。从融合增速看，东部地区数农融合发展的三个维度的指数值增速明显落后。这说明，当数农融合发展到一定程度时，不可避免地会出现增速回落现象。中部地区作为中国农业大省的集聚地，承担着确保国家粮食安全的重任，该地区在融合发展的主体和环境维度具有明显优势，在融合发展的过程维度的排名仅次于东部地区，但在融合的基础设施条件方面则相对落后。东北地区在融合的基础设施条件维度虽具有一定优势，但在其余两个维度则比较滞后。原因在于该地区农业经营主体的数农融合发展意识较为薄弱，农业数字化投入较少，农业数字人才缺失。在融合发展的主体和环境培育不足的情况下，即使有较好的融合基础设施条件，也无法实现与融合发展过程的有效匹配。在融合增速方面，东北地区在融合的基础设施条件维度的指数值增速比较缓慢，在其余两个维度的指数值增速则很快。这说明，该地区融合的基础设施建设投资后劲不足，未来可能无法有效支撑其数农融合进程。西部地区各维度的融合水平均较低，各维度的融合增速则排名靠前，表现出强劲的追赶效应。因此，西部地区如果能够增强农业经营主体的农业数字化发展意识，培育更多有数字化转型需求的农业经营主体，进一步推动数农融合发展，未来有望缩小与东中部地区的差距。

从三大粮食功能区看，粮食主产区各维度融合水平均处于第一梯队，但各维度的融合增速则相对缓慢，表明该区域还需进一步改善融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境，增强农业经营主体的农业数字化发展意识和能力，这样其数农融合发展水平才能在未来继续保持领先地位。粮食主销区在融合的基础设施条件和融合发展的过程两个维度均处于第二梯队，仅融合发展的主体和环境维度

的指数值增速领跑全国。这与粮食主销区经济发展较快、数字技术创新应用能力较强和农业数字化转型观念先进的实际情况高度吻合。粮食产销平衡区在数农融合发展的三个维度均存在一定劣势，但融合增速存在一定的追赶效应。未来，粮食产销平衡区需要基于山地农业分散经营的特征，因地制宜地改善融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境，积极培育有数字化转型需求的新型农业经营主体，只有这样才能维持其较高的融合增速。总的来看，研究期内全国融合发展的过程维度的指数值增速远大于其余维度的指数值增速，且融合发展的过程水平已超过融合发展的主体和环境水平，并逐渐接近融合的基础设施条件水平，表明数农融合发展的过程具有滞后性、快速性和高效性特征。

四、数字经济与农业融合发展的区域差异分析

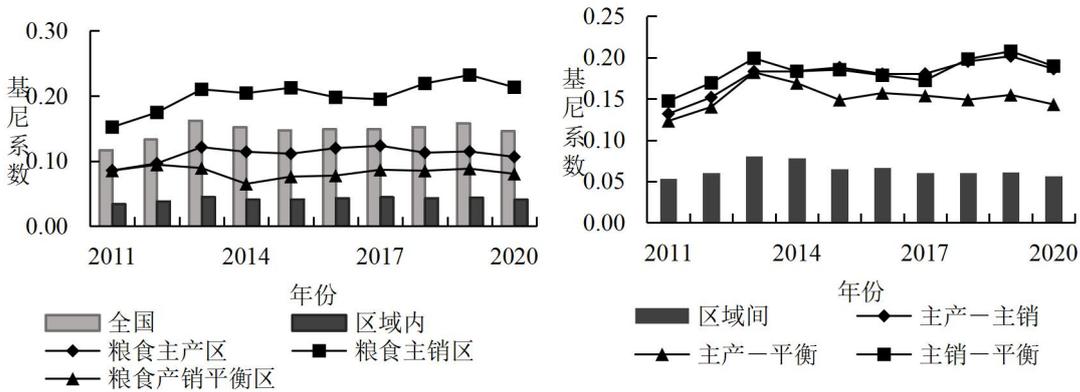
由于 Dagum 基尼系数能够实现对系数的分解，因而常被用来考察空间非均衡问题。本部分将借鉴 Dagum (1997) 的研究成果，采用 Dagum 基尼系数计算并分解全国、四大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展水平的区域差异，计算结果分别如图 3 和图 4 所示。



(a) 总体及四大经济区域内融合差距演变

(b) 四大经济区域间融合差距演变

图 3 四大经济区域数农融合发展水平 Dagum 基尼系数及分解



(a) 总体及三大粮食功能区内融合差距演变

(b) 三大粮食功能区域间融合差距演变

图 4 三大粮食功能区数农融合发展水平 Dagum 基尼系数及分解

图3(a)显示,表征全国数农融合发展水平的总体基尼系数^①的变化呈波动上升趋势。该系数从2011年的0.1171上升至2020年的0.1462,年均涨幅为2.50%,表明全国数农融合发展水平总体差异在缓慢扩大,数农融合发展进程具有明显的不同步性。从贡献率^②看,无论是按四大经济区域还是按三大粮食功能区划分,区域间差异都是数农融合发展水平总体差异的主要来源,四大经济区域和三大粮食功能区区域间差异对总体基尼系数的贡献率均值分别为38.24%和43.74%,且区域间差异对总体基尼系数的贡献率呈下降趋势,超变密度对总体基尼系数的贡献率呈上升趋势。这说明,各区域内均有部分省份的数农融合发展水平相对上升,同时也有部分省份的数农融合发展水平相对下降,从而使不同区域间出现了交叉重叠现象,而且,数农融合进程中存在的交叉重叠现象在总体差距的诱因中的占比逐渐上升。究其原因,主要是不同省份在地理区位、农业资源禀赋与数字技术服务体系等方面存在明显差异。这就使得各省份数农融合发展的程度和速度也有所不同。

从图3(a)反映的四大经济区域内差异看,东部地区数农融合发展水平的内部差异呈多轮“上升—下降”、整体向上的震荡变化趋势,基尼系数均值为0.178,高于全国平均水平(0.147)。这与东部地区各省农业资源禀赋差异较大有关。例如,浙江、广东山地较多,山东、江苏以平原为主,各地数农融合的基础设施条件以及融合发展的主体和环境差异明显,农业功能定位不同,从而使得区域内各省份之间的数农融合发展水平具有明显差异。中部地区数农融合的内部差异整体较小,基尼系数的变化整体呈现波动向上趋势,均值为0.089。这与中部地区地势平坦、粮食主产区功能集中、数字技术主要靠外引服务等特征高度吻合。衡量东北地区区域内数农融合差异的基尼系数的变化呈波动上升趋势,均值仅为0.034。这说明东北地区数农融合的内部差异逐渐扩大,但区域内差异并不严峻,区域内各省份推动数农融合发展的步调较为协调。西部地区数农融合的内部差异与东部地区的变化类似,但基尼系数均值仅为0.105,基尼系数在样本期内的年均增速为1.20%。这表明西部地区各省份之间的数农融合发展水平差距较小。从实际情况看,西部地区各省份以经济作物和果林等山地特色高效农业为主,承担国家粮食安全的功能较为薄弱,融合的基础资源类似,政策受益较为平均,故推动数农融合发展的差异程度较小。从图4(a)反映的三大粮食功能区域内差异看,表示粮食主产区和粮食主销区区域内数农融合发展差异的基尼系数呈震荡上升趋势,均值分别为0.111和0.201。这说明两大区域内各省份推动数农融合发展的不协同性在强化,且粮食主销区更为严重。衡量粮食产销平衡区区域内数农融合发展差异的基尼系数在研究期内均在0.1以下,且基尼系数的变化呈小幅波动下降趋势。这说明该区域内各省份数农融合发展的差距逐渐缩小,协调性在增强。

从图3(b)和图4(b)反映的区域间差异看,四大经济区域的区域间数农融合发展差异逐渐扩大,较为明显的是东部与西部、东部与东北部、东部与中部之间的差异,基尼系数均值分别为0.195、0.172和0.156,均高于全国平均水平(0.147)。从首末年份比较看,三大粮食功能区的区域间数农融合发展差异均呈扩大态势,这揭示了不同粮食功能区数农融合的不同步特征。研究期内大部分区域间数农

^①总体基尼系数=区域内基尼系数+区域间基尼系数+超变密度。

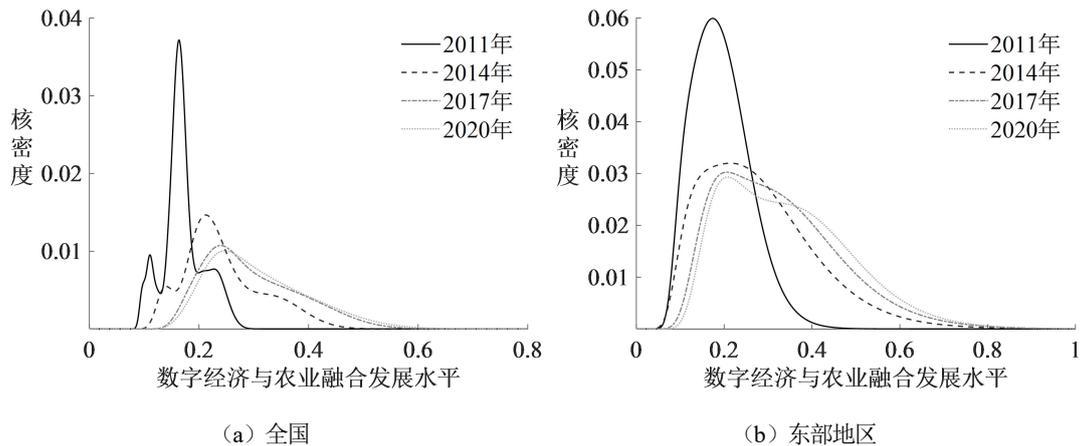
^②篇幅所限,四大经济区域和三大粮食功能区基尼系数贡献率演变趋势图未展示。

融合发展差异的基尼系数在 2013 年达到阶段高峰, 随后都出现一定程度的下降, 而在 2016 年后出现回升态势。这是因为, 2013 年以后, 随着数字技术的普及应用, 数字经济对农业的改造升级不断被农业经营主体所接受, 使得区域间数农融合发展水平的差距逐渐缩小。2016 年, G20 杭州峰会首次将数字经济作为重要议题, 标志着数字经济发展步入快车道。各区域之间在数字鸿沟与数字技术服务体系方面的差异, 使得优势地区的数农融合进程快于其他区域, 各区域数农融合发展差距重新扩大。

五、数字经济与农业融合发展的时空演化分析

核密度估计作为一种非参数估计方法, 能在不假定总体分布的具体形式的基础上对随机变量的密度函数进行光滑估计, 进而得到其分布形态。本文借鉴张林等(2023)研究方法, 采用核密度估计, 分析全国、传统三大经济区域^①和三大粮食功能区数农融合发展水平的时空演化特征。

图 5 描绘了全国和传统三大经济区域数农融合发展水平的时空演化趋势。图 5(a) 中核密度曲线的中心位置不断右移, 主峰高度呈明显下降趋势, 曲线宽度明显扩大, 说明全国层面的数农融合发展水平逐年上升, 但融合发展差距逐渐增大。从曲线的延展性看, 全国层面的核密度曲线存在明显的右拖尾现象, 分布延展性逐渐拓宽, 表明数农融合发展水平较高的省份与全国平均水平的差距逐渐扩大。早期年份的分布曲线呈微弱的“左侧峰—主峰—右侧峰”形态, 随着时间推移, 侧峰峰值逐年降低, 表明早期年份各省份间存在轻微的极化现象, 且随着数农融合的不断推进, 极化现象逐渐减弱, 最终趋于消失。结合前文结论看, 全国数农融合发展水平逐年递增, 但各省份之间存在一定差异并且差异有扩大趋势。不难理解, 虽然数农融合发展水平在经济社会发展和国家政策支持等因素的影响下明显升高, 但地区间在经济发展、资源禀赋、数字基础、农业功能定位、数字化重视程度等方面的不同, 则使得数农融合发展水平较低的省份在短期内难以快速追赶上数农融合发展水平较高的省份。



^①由于东北地区省份数量较少, 为提高结果准确性, 将东北地区划入传统三大经济区域以分析数农融合的时空演化特征。

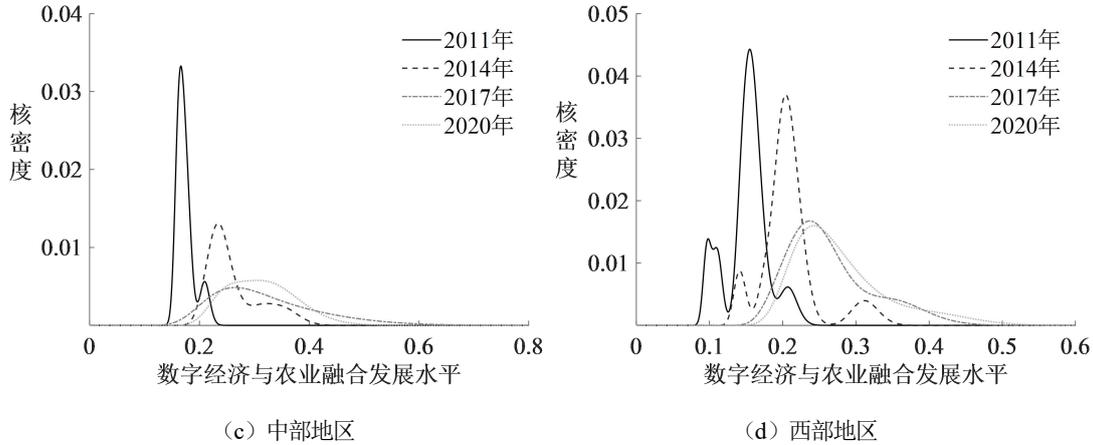


图5 全国和三大经济区域数农融合发展水平的时空演化趋势

图5(b)~图5(d)和图6(a)~图6(c)分别展示了传统三大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展水平的时空演化趋势。图5(b)显示,东部地区数农融合发展水平分布曲线的中心位置逐步右移,主峰形态由尖而窄变为扁而宽,存在明显的右拖尾且延展性变大,表明该地区数农融合发展水平逐渐升高,但区域内数农融合差距则逐渐扩大。值得庆幸的是,东部地区并未出现多极化现象,表明该地区的内部差异并不严峻。东部地区包括6个粮食主销区和4个粮食主产区,其密度曲线分布情况与粮食主销区类似。结合图6(b)可以发现,在大多数年份,粮食主销区数农融合发展水平的分布曲线主峰位置更高、曲线宽度更窄,表明东部地区粮食主产省份数农融合发展水平存在一定差距,正是这种差距加剧了东部地区内部的总体差异。图5(c)显示,中部地区数农融合发展水平分布曲线中心位置不断右移,主峰形态由尖而窄变为扁而宽。而在研究末期,曲线高度回升、宽度收窄,表明研究期内该地区数农融合发展水平逐渐提升,数农融合发展差异呈扩大趋势,但在研究末期差异则在减小。分布曲线的延展性经历了“明显拓宽—小幅收敛”的变化过程,表明该地区数农融合发展水平较高省份与较低省份的差距开始由扩大转向缩小。气候对中部地区的影响十分明显,即使同属粮食主产区,也可能因为不同的纬度和气象条件引发数农融合进程的不同步。然而,随着数农融合的不断推进,数农融合发展水平较低省份逐渐在追赶高水平省份,从而使得中部地区数农融合的差异开始缩小。从极化现象看,中部地区数农融合发展水平曲线经历了从“主峰—右侧峰”到“单峰”的形态转变,表明随着数字技术的普及和应用,各省数农融合程度的极化现象明显减弱。中部地区包括7个粮食主产区和1个粮食产销平衡区,结合图6(a)粮食主产区数农融合发展水平核密度曲线可以发现,粮食主产区核密度曲线的宽度更大,表明中部地区以外粮食主产省份的数农融合发展水平存在明显差异。图5(d)显示,西部地区数农融合发展水平分布曲线的中心位置不断右移,主峰高度有所下降,曲线宽度小幅扩大,存在明显右拖尾现象,表明该地区数农融合发展水平呈上升趋势,融合发展程度的差异微弱扩大,区域内各省份数农融合不同步的趋势并未得到有效改善。从极化现象看,西部地区数农融合发展水平的分布经历了“多峰—单峰”的变化形态,表明极化现象明显减弱。西部地区包括9个粮食产销平衡区和2个粮食主产区,结合图6(c)的分布曲线看,西部地区数农融合的演化趋势与粮

食产销平衡区相似，区别在于粮食产销平衡区在研究末期的分布曲线宽度更窄，右拖尾程度更弱，表明西部地区内粮食产销平衡区的数农融合发展差距小于西部整体水平，西部地区数农融合发展的差距主要来源于 2 个粮食主产区，这在一定程度上说明粮食主产区数农融合的同步性还需要进一步增强。

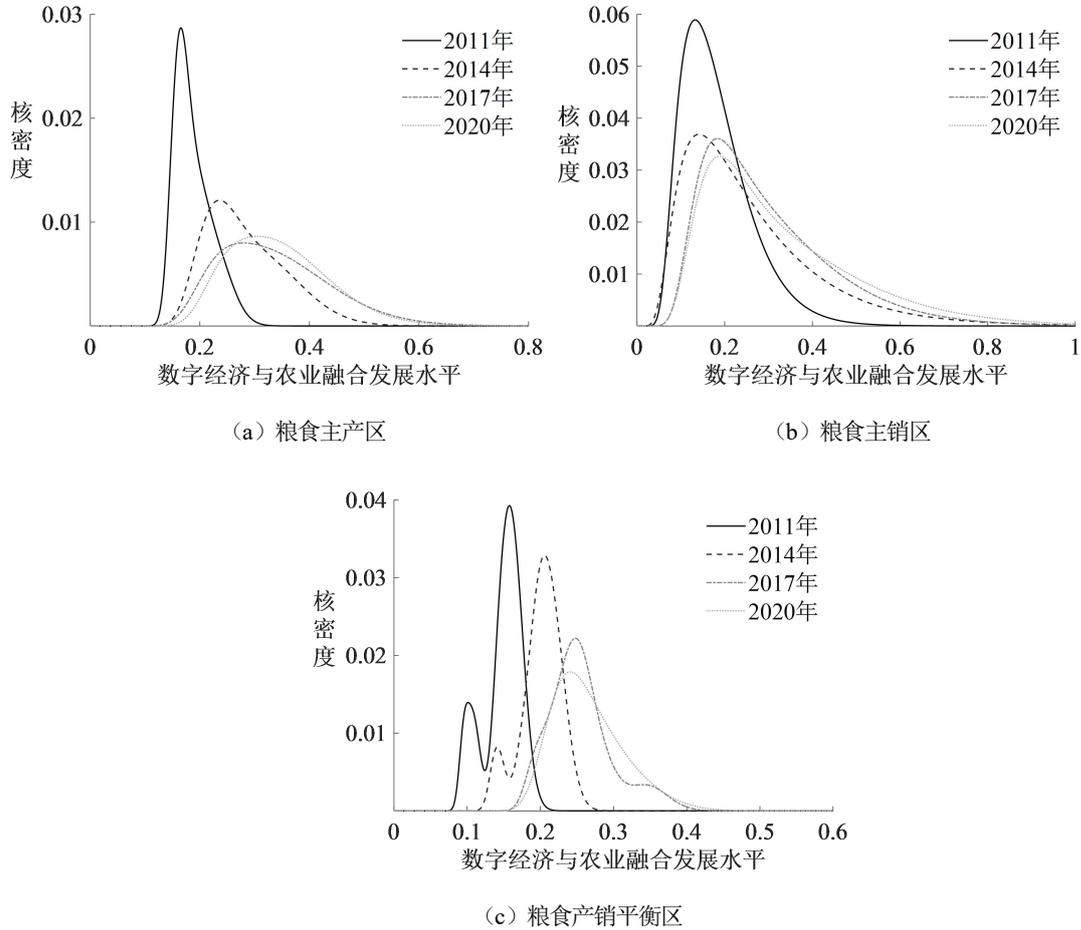


图 6 三大粮食功能区数农融合发展水平的时空演化趋势

六、数字经济与农业融合发展的空间相关性分析

前文已证实，中国数农融合发展的水平存在区域差异。本部分将采用全局 Moran's I 指数进一步研究中国数农融合发展的空间相关性，相关结果见表 3。结果显示，2011—2020 年，中国数农融合发展水平的全局 Moran's I 指数呈波浪式变动趋势，表明数农融合发展水平在经济发展水平和农业功能定位相似的省份中出现显著的集聚现象，存在明显的正向空间相关性。随着时间推移，集聚效应有所增强。本文认为，随着交通、邮电、5G 基站等基础设施的不断完善，各省份（尤其是地理距离相近省份）之间学习交流的机会不断增多，数农融合发展水平逐渐提高，先发省份农业数字技术与数字农业应用场景的示范效应向周边后发省份扩散，区域之间数农融合发展的关联程度不断上升。这使得农业资源禀赋相似、技术与经济联系紧密的省份之间的数农融合发展出现高度集聚的现象。但各省份对农业数字

技术应用的不同步性也会拉大数农融合发展水平较高省份与数农融合发展水平较低省份之间的差距。

表3 数农融合发展水平的空间相关性

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Moran's I	0.031*	0.053**	0.055**	0.058**	0.049**	0.057**	0.044**	0.060**	0.054**	0.049**
z 值	1.696	2.247	2.286	2.361	2.132	2.321	1.999	2.396	2.249	2.117
p 值	0.09	0.025	0.022	0.018	0.033	0.02	0.046	0.017	0.025	0.034

注：*和**分别表示 10%和 5%的显著性水平。

表 4 展示了四大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展的 Moran's I 指数值和显著性情况。可以发现，不同区域数农融合发展的 Moran's I 指数值以及显著性存在明显差异。从四大经济区域看，东部地区 Moran's I 指数值震荡上升，直到研究末期其数值仍为正数，表明该区域内数农融合发展水平较高的省份出现一定的聚集现象，各省份之间的数农融合存在明显的正向溢出和相互学习效应。中部和西部地区数农融合发展的 Moran's I 指数在研究期内均为负数且不显著。这说明，由于在农业资源禀赋、经济发展水平、气候条件等方面存在差异，该区域内各省份数农融合进程表现出不同步性。而且，各省份之间并未形成推动数农融合的合力，从而各省份数农融合发展呈散点分布特征。东北地区数农融合发展的 Moran's I 指数值在研究期均为负数，且仅在少数年份是显著的，表明东北地区内部各省份的数农融合发展呈散点分布特征，各省份之间没有过多的交流与合作。

表 4 四大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展水平的空间相关性

年份	四大经济区域				三大粮食功能区		
	东部	中部	西部	东北部	主产区	主销区	产销平衡区
2011	0.095 (1.544)	-0.179 (0.381)	-0.163 (-0.778)	-0.475 (0.207)	-0.073 (0.126)	0.052 (0.782)	-0.091 (0.224)
2012	0.102 (1.585)	-0.192 (0.114)	-0.085 (0.197)	-0.668* (-1.402)	-0.045 (0.465)	0.115 (0.968)	-0.054 (0.731)
2013	0.058 (1.283)	-0.220 (-0.208)	-0.059 (0.530)	-0.353 (1.225)	-0.046 (0.449)	0.150 (1.093)	-0.007 (1.158)
2014	0.085 (1.466)	-0.224 (-0.261)	-0.009 (1.370)	-0.644 (-1.204)	0.002 (1.015)	0.207 (1.261)	0.016 (1.551)
2015	0.102 (1.582)	-0.210 (-0.125)	-0.016 (1.092)	-0.669* (-1.414)	-0.005 (0.938)	0.246 (1.387)	-0.023 (0.979)
2016	0.107 (1.619)	-0.239 (-0.442)	-0.065 (0.449)	-0.470 (0.251)	0.034 (1.391)	0.278 (1.483)	-0.059 (0.559)
2017	0.081 (1.436)	-0.264 (-0.666)	-0.101 (-0.009)	-0.434 (0.556)	0.042 (1.480)	0.248 (1.420)	-0.053 (0.704)
2018	0.112* (1.649)	-0.310 (-1.309)	-0.112 (-0.147)	-0.472 (0.236)	0.109** (2.287)	0.303 (1.567)	-0.063 (0.514)

表4 (续)

2019	0.113*	-0.304	-0.120	-0.412	0.082**	0.232	-0.065
	(1.669)	(-1.229)	(-0.249)	(0.735)	(1.957)	(1.373)	(0.501)
2020	0.116*	-0.283	-0.112	-0.446	0.065*	0.199	-0.012
	(1.675)	(-0.872)	(-0.163)	(0.454)	(1.751)	(1.236)	(1.114)

注: *和**分别表示 10%和 5%的显著性水平; 括号内为 z 值。

从三大粮食功能区看,粮食主销区数农融合发展的 Moran's I 指数在研究期内均为正数,但在统计上均不显著,表明粮食主销区各省份之间的数农融合表现出微弱集聚现象,预示着各省份之间已逐渐出现学习效应。结合东部地区数农融合发展的 Moran's I 指数的测度结果可以发现,区域空间正自相关性主要表现在东部地区的河北、山东和江苏三个粮食主产区。这三个省份均位于东部沿海地区,交通便捷,数农融合意识较强,凭借数字经济的发展优势,较易开展省份之间数农融合经验交流。粮食主产区数农融合发展的 Moran's I 指数基本呈由负到正的变化形态,但这一指数仅在研究末期才显著为正,表明该区域内部早期的数农融合合作交流较少,数字农业跨省示范效应不明显。随着数农融合的不断推进,区域内省份之间数农融合交流合作逐渐增多,出现了一定程度的空间集聚现象。粮食产销平衡区数农融合发展的 Moran's I 指数在研究期内绝大部分年份为负且不显著,与西部地区类似。结合前文结论看,数农融合发展水平更高的地区表现为更强的正空间自相关性。事实亦是如此,在地势平坦、数字化程度高、农业数字技术服务体系健全、农业数字化意识先进的东部地区和粮食主产区,区域间合作交流多于其他地区,因而这些地区在推进数农融合进程中表现出更强的“干中学”效应。

七、结论及政策启示

本文选取 2011—2020 年中国 29 个省份的面板数据,从融合的基础设施条件、融合发展的主体和环境以及融合发展的过程三个维度构建数农融合发展评价指标体系,并采用层次分析法与 CRITIC 权重法相结合的主客观组合赋权法、Dagum 基尼系数测算与分解、Kernel 密度估计、Moran's I 指数分析等方法,对中国数农融合发展水平进行测度与分析。主要结论如下:第一,全国数农融合发展水平在研究期内逐步提升,但整体水平较低,表明数农融合仍处于起步阶段。四大经济区域和三大粮食功能区的数农融合发展水平呈东部地区>中部地区>东北部地区>西部地区、粮食主产区>粮食主销区>粮食产销平衡区的特征,表明数农融合发展水平存在与经济发展水平和粮食主产功能强弱相关的梯度递减态势。第二,数农融合发展三个维度的指数值从高到低依次为融合的基础设施条件、融合发展的过程、融合发展的主体和环境,且融合发展的过程维度的指数值增速最大,展现出数农融合发展过程的滞后性与高效性特征。第三,数农融合发展水平区域总体差异明显,且这一差异存在扩大趋势,区域间差异是区域总体差异的主要来源。第四,四大经济区域和三大粮食功能区区域间差异均呈扩大趋势,表明数农融合发展水平较低的区域难以在短期追赶上数农融合发展水平较高的区域。第五,全国、传统三大经济区域和三大粮食功能区数农融合发展水平逐步提升,但地区间数农融合发展的差距逐渐扩大。除东部地区、粮食主产区和粮食主销区外,其余地区存在一定程度极化现象,但这种现象后期

逐渐减弱。第六，各省份数农融合发展水平存在显著的空间相关性，四大经济区域中的东部地区和三大粮食功能区中的粮食主产区在研究区间的后半段表现出显著的正空间自相关性，表明这些地区的数农融合存在明显的辐射带动效应和数字技术互助效应。

基于以上研究结论，本文就更好地推动中国数农融合发展提出如下政策启示：

第一，持续推动数字经济与农业深度融合进程，提高全国数农融合整体水平。完善农业数字技术服务政策、财政奖补基础设施投资政策和金融支持农业数字化发展政策，补齐数字农业基础设施短板，加快5G、产业互联网、物联网等基础设施向农业产业集聚区布局进程。继续推进高标准农田建设，改善农田水利、道路、能源等基础设施条件。加强新型农业经营主体数字农业技能培训，提高其数字化经营技能。加强各区域数字农业典型应用场景的开发力度，增强应用场景对新型农业经营主体的示范带动作用。健全数字农业技术服务体系，促进数字农业公共服务与商业服务协调发展。构建全国农业数字技术一体化大市场，建立线上线下结合的农业数字技术供需撮合平台，畅通交易机制，降低交易成本。探索数农融合发展的数字技术保险服务，切实降低数字技术应用风险。加快小农经济现代化改造，利用数字技术延伸服务提高小规模经营农户农业数字化发展水平。

第二，因地制宜推进数农融合发展，凸显区域特色。粮食主产区是推动数字经济和农业深度融合的重点区域，应进一步加强此类地区的基础设施建设力度，改善公共服务条件，优化政策环境，探索农业与数字经济融合发展的有效机制与模式，推进种、养、加、储、运等农业全产业链数字化改造和运营，促进数字化种、养、加协调发展，加强农产品数字化仓储管理，降低粮食储运损耗率。粮食产销平衡区大多位于西部山区丘陵地带，应积极探索小规模化、小型机械化模式下的效益农业与数字经济融合发展的机制与模式，积极开发典型山地农业数字化场景和数字农业工厂，大力发展特优农产品电子商务，突出数农融合发展特色。粮食主销区应进一步对接粮食主产区，完善农产品电子商务和智慧物流系统，改善农产品线上线下销售环境，加强本地区特色文旅农业与数字经济融合发展，开发典型示范场景和多功能农业，延长农业产业链价值链，提高农业产业韧性。

第三，构建数农融合发展的跨区域合作机制，促进各区域协同发展。加强东部地区数字技术创新省份数农融合试点试验，加快成熟型数字技术在全国的推广应用。加强东中西部各省份数农融合经验交流与典型示范现场学习，强化东部对中西部、东北地区数农融合的示范带动作用，建立健全“干中学”和跨界融合交流机制，从政府、经营主体和数字技术企业层面全方位推动合作。建立农业数字技术跨区域服务体系，构建各区域数农深度融合典型案例库。加强对各省份数字农业发展规划的管理，强化国家有关部门对各省份数农融合的监督指导和跨区域协调，构建先发省份带动后发省份数农融合发展的帮扶机制，促进数字农业要素跨区域有序流动，实现各区域数农融合的协同发展。

第四，加强对数农融合的统计监测与问题诊断，构建区域调控激励机制。整合政府农业信息化与数字农业管理处室的职能，联合统计部门，加强对数农融合基础设施条件、融合发展主体和环境以及融合发展过程的调查研究与统计监测，找准各地区数农融合发展的问题和短板，从中观层面健全数农融合发展的规划、寻找其实施路径与政策，对各区域数农融合问题进行闭环精准式管理与跟踪服务指导。在政府农业技术服务系统成立数字农业技术服务中心，对农业经营主体数农融合进行全过程技术

指导。加强数字农业技术市场的有效监管和法律援助服务。构建“政府+农业经营主体+数字技术供应商+金融机构”联合推动数农融合发展的机制，依靠财政、信贷、保险、数字技术、农产品流通等综合性服务方案，助力农业经营主体数农融合取得明显成效。

参考文献

- 1.陈梦根、张鑫，2022：《中国数字经济规模测度与生产率分析》，《数量经济技术经济研究》第1期，第3-27页。
- 2.陈晓红、李扬扬、宋丽洁、汪阳洁，2022：《数字经济理论体系与研究展望》，《管理世界》第2期，第13-16页、第208-224页。
- 3.杜志雄、胡凌啸，2023：《党的十八大以来中国农业高质量发展的成就与解释》，《中国农村经济》第1期，第2-17页。
- 4.农业农村部信息中心课题组、王小兵、钟永玲，2021：《农业全产业链大数据的作用机理和建设路径研究》，《农业经济问题》第9期，第90-97页。
- 5.金文成、靳少泽，2023：《加快建设农业强国：现实基础、国际经验与路径选择》，《中国农村经济》第1期，第18-32页。
- 6.慕娟、马立平，2021：《中国农业农村数字经济发展指数测度与区域差异》，《华南农业大学学报（社会科学版）》第4期，第90-98页。
- 7.涂勤、曹增栋，2022：《电子商务进农村能促进农户创业吗？——基于电子商务进农村综合示范政策的准自然实验》，《中国农村观察》第6期，第163-180页。
- 8.温涛、陈一明，2020：《数字经济与农业农村经济融合发展：实践模式、现实障碍与突破路径》，《农业经济问题》第7期，第118-129页。
- 9.吴非、胡慧芷、林慧妍、任晓怡，2021：《企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据》，《管理世界》第7期，第130-144页、第10页。
- 10.夏显力、陈哲、张慧利、赵敏娟，2019：《农业高质量发展：数字赋能与实现路径》，《中国农村经济》第12期，第2-15页。
- 11.许宪春、张美慧，2020：《中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角》，《中国工业经济》第5期，第23-41页。
- 12.易法敏、古飞婷、康春鹏，2023：《公共服务创新性供给如何促进农业经营主体数字化营销——以广东省“12221”市场体系建设行动为例》，《中国农村经济》第2期，第148-167页。
- 13.张鸿、王浩然、李哲，2021：《乡村振兴背景下中国数字农业高质量发展水平测度——基于2015—2019年全国31个省市数据的分析》，《陕西师范大学学报（哲学社会科学版）》第3期，第141-154页。
- 14.张林、李海央、梁义娟，2023：《农村金融高质量发展：水平测度与时空演变》，《中国农村经济》第1期，第115-139页。
- 15.张旺、白永秀，2022：《数字经济与乡村振兴耦合的理论构建、实证分析及优化路径》，《中国软科学》第1期，第132-146页。
- 16.张在一、毛学峰，2020：《“互联网+”重塑中国农业：表征、机制与本质》，《改革》第7期，第134-144页。

- 17.朱红根、陈晖, 2023: 《中国数字乡村发展的水平测度、时空演变及推进路径》, 《农业经济问题》第3期, 第21-33页。
- 18.Goldfarb, A., and C. Tucker, 2019, "Digital Economics", *Journal of Economic Literature*, 57(1):3-43.
- 19.Tapscott, D., 1996, *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*, New York: McGrawHill Companies, 156-168.
- 20.Dagum, C., 1997, "A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio", *Empirical Economics*, 22(4):515-531.

(作者单位: ¹西南大学经济管理学院;

²西南大学智能金融与数字经济研究院)

(责任编辑: 马太超)

Measuring and Evaluating the Integrated Development Level of Digital Economy and Agriculture in China

WANG Dingxiang PENG Zhengqin LI Lingli

Abstract: Based on Marx's industrial capital circuit theory, this paper analyzes the logic of integrated development of digital economy and agriculture in three dimensions: the infrastructure conditions of integration, the subject and environment of integrated development, and the process of integrated development. On this basis, we construct the evaluation index system for the integrated development of digital economy and agriculture using the panel data of 29 Chinese provinces from 2011 to 2020. We adopt hierarchical analysis and CRITIC weighting method with subject-objective combination weighting method, Dagum Gini coefficient measurement and decomposition, Kernel density estimation, and Moran's I index analysis, to measure and analyze the integrated development level, regional differences, time-spatial evolution and spatial correlation. The study finds that the integration level of digital economy and agriculture is gradually increasing in the sample period in china, but the overall level is low; the integration level of digital economy and agriculture varies significantly across the four economic regions and the three functional grain regions; the levels of infrastructure conditions, process of integration development, and subject and environment of integrated development are in descending order and the level of the process of integrated development shows the largest growth rate; there is an expanding trend in the overall regional difference of the integration level of digital economy and agriculture, which is mainly due to the differences between the regions; the gap in the integrated development level of digital economy and agricultural between most provinces within each region is gradually widening, but the polarization phenomenon is significantly weakened; there is a significant and positive spatial correlation between the integration level of digital economy and agriculture, but this feature is only found in the eastern region and some years in the main grain producing areas.

Keywords: Digital economy; Agriculture; Integrated Development