

# 数字农业的发展历程、应用场景及优化路径

## ——基于数字农业应用场景的讨论

王海侠 屈林婧

(北京师范大学 社会学院,北京 100875)

**摘要:**传统农业正经历由数字技术驱动的深刻变革,未来的农业形态将逐步向数字农业转型升级。数字农业被视为整合农业生产要素和过程的数字化表达,旨在通过网络化、自动化、智能化和精细化作业,实现农业产业链的全面升级。本文梳理了数字农业在各领域和行业的具体应用,介绍数字农业为行业发展所提供的应用场景开发案例。数字农业为农业生产管理提供创新性技术方案,其核心在于实现各类农业应用场景的数字化,如数字种植、数字温室、数字畜牧、数字渔业及数字农产品溯源等众多的应用场景。整体而言,我国数字农业已有较大发展,但仍处于初级阶段,数字农业基础条件、市场化程度、数据供应主体与数字治理能力等方面存在短板与优化空间。

**关键词:**数字农业;应用场景;技术方案;发展困境

**中图分类号:**F303 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-7465(2024)06-0146-13

### 一、数字农业的发展历程与所处阶段

数字农业是农业现代化的高级阶段,是我国由农业大国迈向农业强国的必由之路。近年来,数字农业发展势头强劲,通过数据要素的具体应用,以现代农业技术解决方案为传统农业经营赋能,这种趋势是技术进步与政策支持共同催化的现象。数字农业在提高农业竞争力、增加农民收入以及推动农业生态可持续性方面发挥着重要作用,成为中国农业现代化进程中不可或缺的力量。但数字农业发展所需要的各种基础条件、技术更新与配套政策,仍须持续提质升级与优化完善。

#### (一) 数字农业的政策驱动

从我国数字农业的相关政策引导与支持中可以窥见数字农业的发展态势,本文将数字农业发展历程划分为四个时期,即萌芽期、探索期、初步发展期以及高速发展期(表 1)。我国的数字农业萌芽于 20 世纪 90 年代,科技部将“农业智能应用系统”纳入“国家高技术研究发展计划”(简称 863 计划)。863 计划的推进标志着中国数字农业进入萌芽期<sup>[1]</sup>,这一时期通过建立如苹果的生产管理、鱼类病害防治等研究平台和项目数据库,逐步构建出一些具有行业发展性质的数字农业具体应用形态。1998 年“数字中国”概念首次提出,数字农业进入更为深入的探索阶段。到 2003 年,“大型现代农业数字技术应用研究与开发”被列为国家重大科技项目和技术重点项目,显著推动了数字农业的发展<sup>[2]</sup>。“十四五”规划的实施,新一代信息

收稿日期:2024-03-15

基金项目:国家社会科学基金重点项目“小农户生产与农业现代化有机衔接机制研究”(23ASH007)

作者简介:王海侠,女,北京师范大学社会学院副教授;屈林婧,女,北京师范大学社会学院硕士生。

技术与农业生产深度融合,成为推动农业现代化的关键力量。

表 1 数字农业的相关政策文件

阶段	政策文件及主要内容
萌芽期 (1990—1997 年)	1990 年科技部推出 863 计划,支持“农业智能应用系统”相关研究,并在全国 22 个示范区应用
探索期 (1998—2012 年)	1998 年“数字中国”“数字农业”“数字水利”概念相继提出 2003 年将“大规模现代农业数字化技术应用”列为 863 计划重大科技专项研究,并取得阶段性成果
初步发展期 (2013—2018 年)	2013 年农业部开始在上海、天津、安徽三省(直辖市)开展农业物联网试验工程,并对农业数据的实时采集进行探索 2015 年农业部出台《关于推进农业农村大数据发展的实施意见》,明确“农业+大数据”发展方向 2017 年农业部依据《关于做好 2017 年数字农业建设试点项目前期工作的通知》,正式设立“数字农业”专项,加快中国农业现代化、数字化转型升级
高速发展期 (2019 年至今)	2019 年中共中央办公厅、国务院印发《数字乡村发展战略纲要》,要求将数字乡村作为数字中国建设的重要内容 2020 年《数字农业农村发展规划(2019—2025 年)》着重强调要以产业数字化、数字产业化为发展主线,强化数字农业关键技术装备的创新与应用,以更好实现数字农业驱动乡村振兴 2021 年中央网信办等 7 部门印发《数字乡村建设指南 1.0》,提出数字乡村建设总体参考框架,以及若干可参考的应用场景,供各地区在推进数字乡村建设时借鉴使用 2022 年中央网信办等 10 部门印发《数字乡村发展行动计划(2022—2025)》,推进农业生产信息化水平稳步提升。同年发布了《数字乡村标准体系建设指南》,提出数字乡村标准体系框架,明确“十四五”时期数字乡村标准化建设目标、建设内容与建设路径 2023 年中央网信办、农业农村部、国家发展改革委、工业和信息化部、国家乡村振兴局联合印发《2023 年数字乡村发展工作要点》,部署了强化粮食安全数字化保障等 10 个方面重点任务

随着物联网技术的不断成熟与大数据应用的兴起,数字农业发展方兴未艾,呈现显著增长态势,我国的数字农业步入初步发展期。2013 年,农业部开始在天津、上海和安徽开展物联网试点,探索农业数据在物联网中的应用。2015 年,《关于推进农业农村大数据发展的实施意见》出台,明确了“农业+大数据”的发展方向。2016 年,农业部印发《农业农村大数据试点方案》,决定在北京等 21 省(区、市)开展农业农村大数据试点,建设生猪、柑橘等 8 类农产品单品种大数据。2017 年,农业部办公室发文《关于做好 2017 年数字农业建设试点项目前期工作的通知》,文件明确指出:“推动大数据、云计算、物联网、移动互联、遥感等现代信息技术在农业中应用,在大田种植、设施园艺、畜禽养殖、水产养殖等领域开展精准作业、精准控制建设试点,探索数字农业技术集成应用解决方案和产业化模式,打造一批数字农业示范样板,加快推进农业生产智能化、经营信息化、管理数据化、服务在线化,全面提高农业现代化水平。”其后,数字农业建设项目重点围绕大田种植、设施园艺、畜禽养殖与水产养殖四大类领域展开。经过多年的孕育和发展,2018 年我国农业生产数字化水平为 18.6%,农作物种植数字化为 16.2%,设施栽培信息化为 27.2%。

2019 年,《数字乡村发展战略纲要》印发,明确提出“数字乡村”要成为数字中国的重要组成部分。此后几年,伴随着数字中国的战略推进与数字经济的一路高歌,数字乡村迎来了迅猛发展的阶段。2020 年,全国县域农业农村信息化总水平增长至 37.9%,生产信息化也达到了 22.5%。2022 年,中央网信办等 10 部门印发了《数字乡村发展行动计划(2022—2025 年)》,部署了 8 个方面的重点行动,包括“数字基础设施升级行动”与“智慧农业创新发展行

动”两大行动。2023 年,中央网信办、农业农村部等五部门联合印发《2023 年数字乡村发展工作要点》,此文件与《数字中国建设整体布局规划》进行衔接和联动,提出要“加快农业全产业链数字化转型,强化农业科技和智能装备支撑”。随后,在《2024 年数字乡村发展工作要点》中部署了 9 个方面 28 项重点任务,使得数字乡村的建设内容更加细致且具体。受益于市场驱动与政策支持的双重因素,数字农业逐渐引起各方重视,数字农业亦被看作农业领域的新兴增长极。近年来,出台的数字中国与数字乡村建设文件较为密集,表 1 对有代表性和推动性的重要文件和内容进行梳理与回顾。

(二) 数字经济赋能传统农业的数字化转型

数字经济是新经济的重要组成部分,与新经济有着密不可分的联系,是由信息通信技术、互联网技术等驱动的经济形态<sup>[3]</sup>。数字经济已经成为重组要素资源与重塑经济结构的关键力量,是继农业经济、工业经济之后的全新经济形态,通过产业数字化将数据作为生产要素,使得数字在整个经济链条中发挥重要作用。2016 年,《G20 数字经济发展与合作倡议》提出,数字经济包括使用数字化知识和信息作为关键生产要素的经济活动,强调信息通信技术在提高生产效率和优化经济结构中的重要作用。数字经济的核心要义在于以数字技术为核心,依托数字化基础设施,利用大数据、云计算、人工智能等技术手段,推进实体经济数字化、智能化、网络化,促进经济高质量增长和社会可持续发展。数字经济可以被理解为以数据为加工对象,利用数字技术提供产品和服务的产业集合,即数字产业化概念,这包括了传统的信息通信技术领域以及数字化产品、服务和平台<sup>[4]</sup>。数字经济包括信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个方面<sup>[5]</sup>。综合而言,数字经济是基于互联网及相应新兴技术(如移动互联网、大数据、云计算、人工智能等)所产生的经济活动的总和,既包括电子商务、互联网金融等互联网产业,也包括传统产业的数字化转型。

传统农业生产本身固有的地域性、周期性、季节性使得农业产业化进程相对缓慢<sup>[6]</sup>,加之农业基础设施薄弱、产销体系信息不对称、金融排斥等因素进一步限制其发展。数字经济的可再生性、普惠性和高渗透性为农业发展提供了解决这些问题的新思路、新途径,其可以通过融合不同生产要素来赋能农业体系,推动构建现代农业经营体系<sup>[7]</sup>。传统农业的局限性和数字经济的潜在优势促使数字农业的概念和实践应运而生。数字经济发展通过推动数据要素激活促进农业数字化转型<sup>[8]</sup>,互联网、大数据和云计算等信息技术正在重塑农业生产方式,数字经济具有的“蒲公英效应”将进一步通过产业链协作推动农业的数字化改造<sup>[9]</sup>,实现数据要素与传统生产要素的融合,数字基础设施的发展和信息化水平的提高最终会为农业生产“数字赋能”。可预见,数字经济高速发展能带动传统产业实现多方位、全要素转型升级<sup>[10]</sup>,这一新兴经济形态对农业生产方式、生产管理和产业深度融合等方面将发挥巨大影响,传统农业数字化转型是数字经济时代的必然发展趋势。

与此同时,中国的农业数字化转型亦面临若干挑战与困境。目前数字农业发展还存在诸如基础设施配套薄弱、技术应用场景开发不充分、数字开发人才匮乏等问题。(1)在基础设施方面,农村信息基础设施薄弱,宽带通信和数字电视网络等投入仍旧不足,导致农村信息化建设进展缓慢<sup>[11]</sup>;(2)在技术应用方面,数字技术与农业生产之间缺乏切实的深度融合,新技术难以适应农业领域的实际需求<sup>[12]</sup>,其中的关键性技术研究不深入,国内企业在关键设备上过度依赖进口,研发分散而合力不足;(3)在数字主体层面,农民的数字技能几乎从零开始,高素质数字农业人才极为匮乏,导致技术广泛应用受限,如农业遥感卫星和北斗卫星导航系统的潜力未能得到充分发挥;(4)在数据储备方面,数字农业数据统计的真实性和准确性受到质疑,数据的搜集与储备不充分导致后续的数据模型开发与应用拟合受限。此外,就发



展趋势而言,我国数字经济发展不均衡,发展水平呈现“东—中—西”阶梯式分布特征,数字鸿沟现象明显。西部地区大多数省市的数字农业发展与全国平均水平相比,在基础设施、人才资源、技术支持、产业效益、龙头企业带动等方面存在较大差距<sup>[13]</sup>。虽然数字农业被寄予厚望,但就发展阶段而言,数字农业建设仍需在技术融合、场景应用与人才培养等方面进一步加强。

## 二、数字农业的内涵与应用

传统农业正经历由数字技术驱动的深刻变革,未来的传统农业会逐步向数字农业转型升级。目前对数字农业的研究虽然众多,但仍有巨大的研究空间与有待开拓之处。下文就数字农业的内涵与特点、核心的板块与内容及其在现代农业中的角色地位进行论述。

### (一) 数字农业的内涵

伴随数字技术的高速发展,数字农业在其内涵与外延上展现了日益丰富的趋势,学者们从不同研究视角对数字农业的概念进行界定,诸如信息农业、精准农业、智慧农业等概念相继涌现,但这些概念既有共通亦有不同之处。数字农业被视为整合农业生产要素和生产过程的数字化表达,旨在通过网络化、自动化、智能化和精细化作业,实现农业全产业链的全面升级与转型。从经济角度,阮俊虎与刘天军等<sup>[14]</sup>认为数字农业是数字经济的一部分,强调数字化农业知识与信息作为核心生产要素的重要性,将其与数字经济的发展紧密联系,不仅限于技术应用,更是经济活动和产业模式的创新。从发展模式角度,罗浚文<sup>[15]</sup>认为数字农业涵盖以“产品”为核心的数字生产模式和以“消费者”为中心的全产业链数字经营模式,强调市场和消费者在其发展中的重要性。从农业技术应用角度,马述忠<sup>[16]</sup>认为数字农业基于农业空间信息,以3S技术(遥感RS、地理信息系统GIS、卫星定位系统GPS)为支撑的农业系统空间信息技术体系,聚焦于数字技术在农业生产中的应用,强调精准农业的实践。而就生产实践角度来说,刘海启<sup>[17]</sup>则明确数字农业技术系统在种植过程中的应用提升了农业生产效率和田间管理水平,是数字赋能农业的具体体现。综合以上方面的论述,本文将数字农业理解为集成先进的信息通信技术(ICT)至农业领域的创新实践,体现为农业生产要素、生产管理过程及农业生产各部门信息的全面数字化,其既是数字经济的关键组成部分,也是农业现代化的显著标志。这一概念不仅反映了高新技术的应用和农业数字化进程,而且代表了在全球经济数字化趋势中农业领域与时俱进的发展方向。

数字农业作为现代农业革新的重要范式,展现了从技术整合到生产效率提升的多维特征。首先,数字农业在本质上是数据驱动和技术依赖,具有集约化与智能化发展特征。温涛<sup>[18]</sup>指出,数字农业高度依赖大数据、云计算、物联网等技术,并将数字化的农业知识和信息视为核心生产要素。这体现在农业要素和模型的数字化上,包括通过3S等技术获得的地理空间数据、现场生产信息、气候数据等,都成为农业决策的重要依据<sup>[19]</sup>。数字农业通过应用这些新兴技术实现对农业生产过程的智能化和精准化控制,显著提升了劳动生产率和资源利用率。其次,数字农业具有个性化和消费者导向的特性。通过数字挖掘能够捕捉消费需求的变化,提供多样化和个性化产品,并通过新兴技术如区块链模式提高食品的可追溯性。数字农业还具有普惠性和共享性,其有助于简化交易流程,减少流通损耗,从而提高农业生产者收入,促进资源的共享和规模化经营<sup>[20]</sup>。再次,数字农业具有较强的经济社会延展性,它不仅是一系列技术的应用,更是一个广泛的社会经济现象。数字农业通过产销融合、智能平台和定制化服务,既可促进产业链升级又能做到价值链的延伸,带动相关产业的发展。数字农业

高度依赖技术创新,这就对应用主体的数字能力有所要求,更强调农民对新技术、新机器、新设备的学习和适应能力。这要求农业从业者要具备与技术相匹配的相关技能,因此数字化转型成功与否需要综合考虑技术、教育、研发等因素<sup>[21]</sup>。总体而言,数字农业可凭借其技术整合、个性化服务、资源优化和数字能力建设等优势助力农业产业链的转型升级,但也面临任重而道远的客观实情。

## (二) 数字农业的核心板块与内容

数字农业作为现代农业革命的关键驱动力,其本质在于通过信息技术的全面融入,实现农业生产的高效和可持续发展,这一变革主要体现在三个核心板块。第一板块是农业要素的数字信息化,它将关键的生物、环境、技术和社会经济要素转化为数字形式,为决策提供数据支持。第二板块是农业生产管理过程的全面数字化过程,通过数学模型精确表达和优化各个生产环节以提高资源利用效率。第三板块是农业生产各部门的信息全面数字化与网络化管理,提升农业部门间的信息流通和协同效率,同时也推动从生产到流通各环节的数字化转型。

第一板块:农业要素的数字信息化。农业要素是农业发展的基本组成部分,主要包括生物要素(如作物叶片温度、叶片结露时长)、环境要素(如空气温度、土壤水分)、技术要素(如农药效果、飞防效率和收割效率)、社会经济要素(如农产品市场需求、农产品价格信息)以及知识要素(农业生产中的内在规律与外在关系,往往呈现为基于农业现有知识和涉农专家技术人员的经验而构建的农业模型)。农业要素的数字信息化是通过先进的信息和通信技术,如遥感、全球定位系统、传感器、无人机、云计算和边缘计算等,将这些基本要素转化为数字形态的过程。数字信息化的农业要素是实施精准智能化农业控制的基础,是数字化农业运作和管理的核心要素。

在实际应用方面,农业要素的数字信息化主要体现在利用数字技术收集关于生物、环境、技术和社会经济要素的数据。例如,在果园农业要素的数字信息化过程中利用自动气象监测设备(温湿度传感器、光照强度计、风速风向计等)和土壤墒情监测系统(多层土壤湿度和温度传感器等)收集环境要素相关数据,智能虫情监测设备(虫类趋光性诱杀技术和超高清摄像头)和植物生理监测系统(叶片温度和湿度传感器)则提供了作物生长状态和病虫害信息。数据上传数字系统终端是后续数字农业决策管理的基本对象,这些技术的应用,一方面使得农业数据的收集更为精准,另一方面促进农业知识与经验的传承和显性化。

第二板块:农业生产管理过程的全面数字化。农业生产管理过程的全面数字化是农业数字化发展的核心板块,将农业生产的各个方面和流程过程通过现代信息技术手段转化为数字形式,以提高效率、减少浪费,并优化管理决策。数字化农业运营管理是基于农业要素及过程数字化形成的数字资源,通过大数据分析、集成化数字平台和人工智能算法等技术,精准控制农业生产,其主要涉及农业要素数据驱动生产决策系统、市场数据支持决策系统以及全流程供应链数字化管理。

生产决策系统不仅限于应对和预测,还深入农业生产过程的各个环节,如在种植领域中涉及种植、灌溉、施肥和收割等环节,对所收集的农业要素进行信息化处理得到数据分析结果,继而农业生产者利用决策支持系统根据数据分析结果形成农业生产的管理决策,精确规划和优化生产活动。依托市场数据分析系统支持销售决策,运用大数据分析和人工智能算法,农业生产者可以更准确预测市场需求和价格趋势,据此调整产量和种植结构,优化农产品的营销策略。全流程供应链数字化管理中通过集成化数字平台,农业生产者可以更有效地嵌入供应链各环节,包括产前种植、产后收割、存储加工和销售,从而实现供应链的透明化和优化。

第三板块:农业生产各部门信息的全面数字化与网络化管理。农业生产各部门信息的全面数字化与网络化管理是实现数字农业高效、协同和可持续发展的关键。这一转型过程不仅限于生产领域的技术应用,还涵盖科研、教育、生产、行政、流通和服务等多个环节,形成一个综合性的数字化农业生态系统。具体而言,在科学研究领域,数字技术深入应用显著提高了农业研究的精确度和效率,如通过高级数据分析和模型模拟,研究人员能够更精准地揭示作物病害的发展趋势和环境变化对农业的影响,从而加速农作物新品种的培育和病虫害控制方案的开发。教育领域的数字化则通过在线平台和虚拟实验室的建设,打破地理上和物理上的限制,为农业教育和技术培训提供更加广泛和深入的途径。在生产管理领域,农业生产管理过程的全面数字化实现了从田间到收获后加工处理的全过程优化。数字技术在行政管理中的应用,如电子政务系统显著提升政府服务的效率和透明度,简化了农业补贴发放和生产许可等行政事务的处理过程。

三、数字农业的应用场景与技术方案的

数字农业的发展为农业生产提供了创新性技术方案。数字农业涵盖数字种植、数字温室、数字畜牧、数字渔业及数字农产品溯源等众多应用场景,数字应用场景是农业农村生产生活各个领域与信息化深度融合的适用情景<sup>①</sup>,它们共同致力于构建一个高度集成、自动化和智能化的现代农业生产生活体系。本研究将数字农业基于各类应用场景所提供的技术方案,统称为数字农业技术解决方案的综合性应用框架(图 1)。

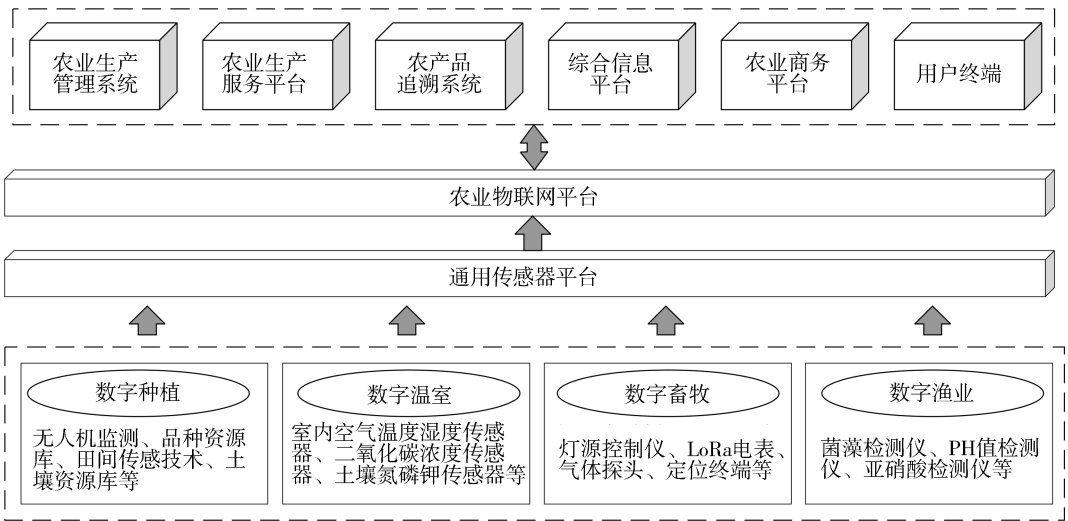


图 1 数字农业技术解决方案的综合性应用框架

《中国数字乡村发展报告(2022 年)》显示,截至 2021 年,数字种植和数字温室领域应用物联网、大数据、人工智能等技术,实现了部分的精准播种与智能灌溉。我国大田种植信息化率为 21.8%;畜牧业的数字化与标准化同步推进,信息化率达 34.0%;渔业领域养殖水体信息在线监测、精准饲喂、智能增氧等技术被广泛应用,全国水产养殖信息化率为 16.6%;农业生产整体信息化率达到 25.4%。本文将重点介绍五种类型的数字农业应用场景,应用场景的具象化是理解数字农业的抓手,应用场景的缔造是数字农业的命脉所在。

① 参见中央网信办、农业农村部等共同编制的《数字乡村建设指南 1.0》,2021 年 7 月。



(一) 数字种植

数字种植是运用信息技术、传感器技术和大数据分析等技术和方法,实现生产全过程的智能化、高效化和可持续发展的创新型种植业模式,应用于规模化农业作物生产、园艺精细化生产、园林生产等多个领域。内容涵盖农作物生长环境的智能化监控、精准农业生产、农作物病虫害的智能预测和防治、农产品质量的追踪管理。具体而言,通过物联网技术和传感器实现土壤湿度、温度等环境参数的实时监测,实现农作物生长环境监控;利用大数据和人工智能技术对农作物的生长状态进行分析,实现农作物生长过程的精细管理和高效率生产;运用高精度传感器和遥感技术快速识别病虫害情况,结合智能化的防治系统及时采取有效措施;采取信息技术手段,实现农产品质量从种植到收获再到市场的全过程追踪,加强对农作物生产过程的质量管理,建立农产品质量安全可追溯体系。

北京 AKN 农业科技有限公司立足于全周期数字种植决策支持服务系统,以数字农场物联网平台、农业大数据服务平台以及农机自动化设备为核心服务领域。据公司统计数据,截至 2023 年其支持的耕地覆盖面积 2600 万亩。该公司依托其自主研发的大数据驱动型智能农业技术系统,为农业种植者提供及时、高效、精准的管理决策指导,具体流程如图 2 所示。该系统通过软硬件系统的融合,收集农田操作数据和收成等关键信息,形成信息闭环。通过整合未来气象数据、土壤环境数据、作物生长模型算法以及用户在系统中的主动反馈,将数据传递到信息采集端,通过系统数字化模型分析处理进行决策,为种植户或企业提供精确到天的耕作操作建议,并通过智能农机设备执行决策。

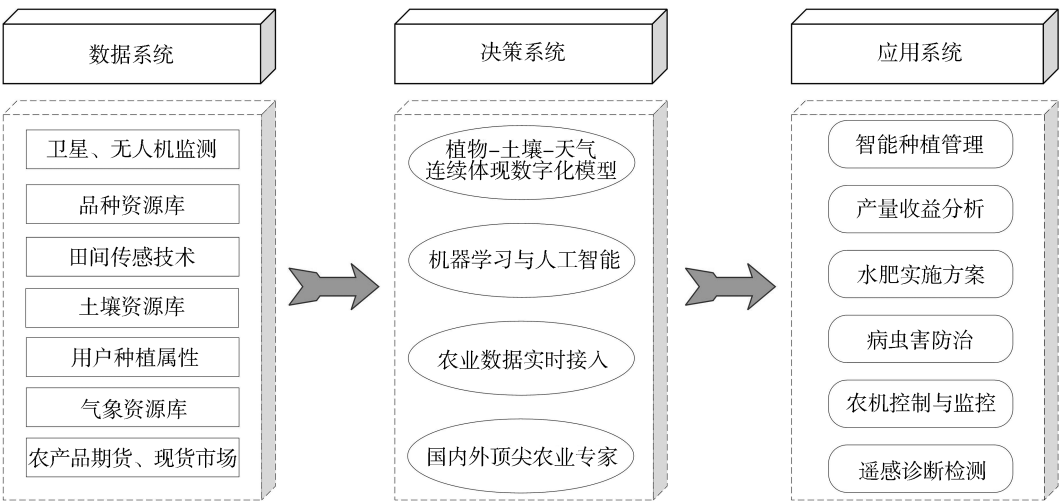


图 2 大数据驱动型智能农业技术系统

(二) 数字温室

数字温室,也被称为自动化温室大棚,通过整合计算机控制系统、移动天窗、遮阳系统、保温保湿窗帘、风扇降温系统、喷滴灌系统以及移动苗床等先进设施,构建一个高度自动化的生产环境,实现环境控制、自动化管理和智能决策的有机结合。该系统由信号采集系统、中心计算机和控制系统三大核心部分组成,对温室内部环境进行精准感知与智能控制,从而有效管理温室大棚内部环境。数字温室大棚的应用范围广泛,覆盖了农业、园艺、畜牧业等多个领域,特别是在露地蔬菜智能化自主移栽、土壤元素快速检测、基于图像技术的设施园艺动态监测、新型装配式温室精准感知与智能环控等应用场景中表现突出。这些应用不仅提高了农作物的生长能力,还通过智能施肥与植保、智能种植管理等手段,提高生产效率,优化资源利

用率。

青州市 YX 温室园艺有限公司,为花卉、蔬菜、种苗繁育、养殖及畜牧业等众多领域的数字温室工程设计与承建提供全面解决方案。该系统通过先进的信息采集设备,如温湿度传感器、二氧化碳传感器、土壤电导率传感器等,实时监测温室内部的环境状态,确保数据的实时性和准确性。在数据采集后,数字温室系统通过其内置的数字化模型进行深入分析和处理。基于复杂的算法和数据分析技术,系统能够对收集到的数据进行深度解析,识别出作物生长的最佳环境条件,将分析结果进一步转化为具体的生产决策。智能温室利用无线通信技术与智能农机设备实时连接,根据系统提供的决策建议,智能农机设备能够自动执行相关的农业操作,实现灌溉、施肥、通风、遮阳、加温等多个方面的调节,进一步提升农业生产的自动化和智能化水平。同时,系统通过软硬件的融合,不仅优化了作物生长环境,还能收集农田操作数据和作物收成等关键信息,形成一个完整的信息闭环,为农业生产提供持续的数据支持和优化建议,该系统具体架构如图 3 所示。

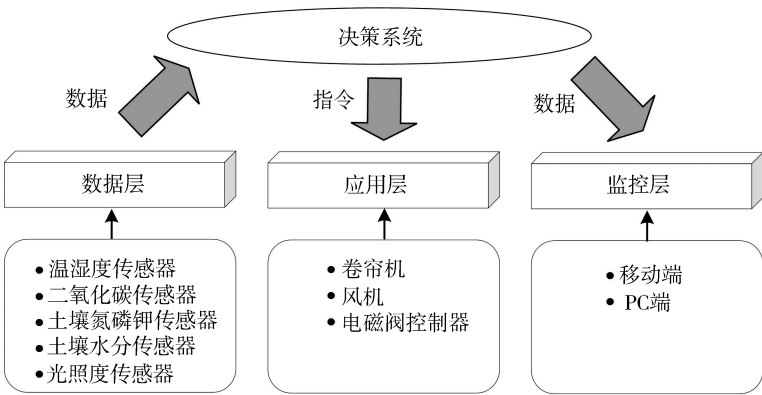


图 3 数字温室的决策系统

(三) 数字畜牧

数字畜牧通过综合运用物联网技术、大数据平台及人工智能技术,优化畜牧业养殖、防疫、检疫、产品安全监测、病死动物处理、屠宰管理、卫生监督和市场监测等环节,以实现畜禽养殖智能化、动物防疫和检疫智能化、畜产品安全监测智能化。具体而言,基于物联网技术,实现畜禽标准化养殖、环境因素的智能检测与调控、全程电子溯源;建设大数据平台实现养殖户即时获取畜禽的生长特性、饲养管理要点、疫病防治知识以及市场行情动态,进一步优化养殖决策过程;通过人工智能技术,实现畜禽个体位置及生理特性指标的获取、病死动物无害化处理和动物卫生监督执法的智能化,实现从畜禽养殖到屠宰、流通每个环节的质量安全追溯,整体提升畜牧业防疫和安全监管的效率和精确度。

ZKZM(西安)公司聚焦肉羊养殖产业智能化与信息化,于 2017 年建成投产,产品投入累计使用百万只羊。公司以“智牧通、智牧大脑、智牧物联、智牧金融”为基础板块构建了一体化的肉羊养殖全产业链信息化服务平台。其中,“智牧通”生产管理系统通过自主研发的软件平台和动物智能项圈、植入式智能芯片等硬件设备,为养殖肉羊提供科学管理、数据信息建设、风险防控和产业融合的智能生产服务。系统通过电子项圈和智能终端实时采集羊的生产数据,经由系统收集、分析数据,提供生产管理、健康状况监控和繁育管理等信息,通过温湿度传感器、氨气浓度传感器等监控羊舍环境,运用自动调节设备如风机、水帘等优化生存环境,基于大数据分析自动推算羊的健康状况和最佳生长环境,详情见图 4。



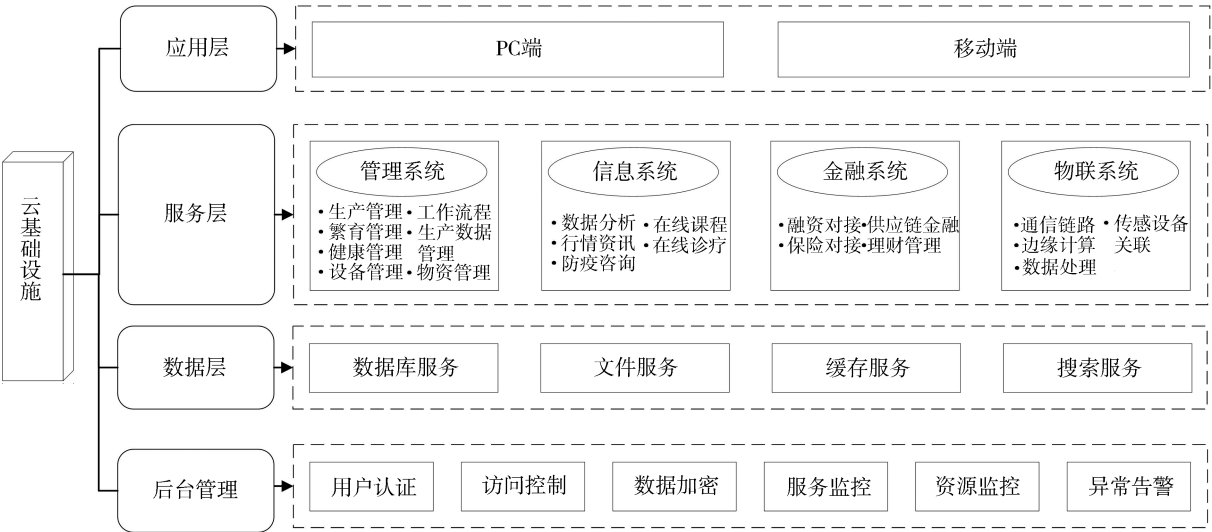


图 4 数字畜牧的养殖产业智能化与信息化系统

(四) 数字渔业

数字渔业作为现代渔业发展的高级阶段,基于现代信息技术收集整理、深入开发和利用渔业全产业链信息资源,显著提高渔业综合生产力和经营管理效率。数字渔业的具体应用场景涵盖水产养殖智能化、海洋捕捞智慧化以及水产加工智慧化。水产养殖方面,基于大数据实现综合养殖决策、环境监控(水质参数、视频)、养殖设备智能控制、病害监测预警、远程诊断等水产养殖信息化服务。海洋捕捞方面,通过船载自动识别系统(AIS)等技术实现渔业捕捞预测分析服务、渔获量分析预报服务,真正做到“未捕先知”,实现电子渔捞日志、捕捞水产品追溯,提升捕捞信息化程度。水产品加工则通过智能化手段实现水产品养殖、加工、流通环节的质量安全追溯,加强水产养殖过程质量管理、建立水产品质量安全可追溯体系。

以水产养殖智能化为主要应用场景的浙江 QYL 农业科技有限公司于 2016 年建成投产,集成应用 500 亩循环养殖水体,投入建成 34 个数字渔村。主要业务涵盖渔村服务驿站、数字生态渔仓和智能蜂窝池,分别针对鱼塘监控、水产品销售接口解决以及全程化智能养殖管控,围绕核心业务场景基于物联网“六域模型”<sup>①</sup>搭建数字渔业科技服务平台。数字渔业科技服务平台的物联网系统基于系统级业务功能的划分,设定物联网用户域、目标对象域、感知控制域、服务提供域、运维管控域和资源交换域,分别对应不同用户群体的具体需求,明确“物”的属性及其关联特性,制定感知区域和控制区域物物相连的方案,将原始数据转化为用户可直接利用的信息,确保系统的安全、稳定和精准运行以促进系统内外部的资源信息共享和交换。

(五) 数字农产品溯源

数字农产品溯源本质要实现农业生产全过程的数字化管理与监控,确保农产品从田间到餐桌的全过程可追溯性,从而保障农产品的质量与安全。数字农产品溯源的体系架构从底层到顶层共有五个层级。一是运行环境层,为系统提供硬件设备、操作系统、网络环境等基础运行条件;二是网络层,负责数据传输和网络连接管理;三是基础服务层,提供身份服务、区块链服务、管理服务和安全服务等基本功能模块;四是接口层,向上层应用提供数据交互和共享的统一接口;五是应用层,提供农产品质量追溯、安全生产管理、流通管理、质量监督管理等具体业务功能。基于该体系架构,数字农产品溯源技术优化了生产、加工、销售等环节,为政府部

① 六域,即用户域、服务提供域、感知对象域、目标对象域、资源交换域、运维管控域。

门的监督管理、企业的可信流通体系建设提供技术支撑,整体提升了农产品质量和安全水平,有效缓解供需双方的信息不对称问题。

WZ 公司是一家提供农产品溯源系统的平台公司,其农产品溯源系统是从产品的源头开始规范管理,由事后检测转变成事前预案、过程管控,包括产地检测、种苗处理、施肥、用药、采摘、运输、加工等环节,以提高产品质量。通过为每个商品分配唯一识别码的方式,基于一物一码 SaaS 平台实现了商品的生产管理、加工流程、运输流程和销售环节的多流程追踪以及溯源查询(图 5)。具体而言,通过分配每个销售单元独有的身份标识(如条形码或二维码)及应用传感器技术,实现农产品从种植至加工全过程的实时监控与网络化管理;加工环节采用电子标签技术,全程监控并实时记录加工过程中使用配料、加工环境等关键数据,满足加工透明度需求,便于食品安全责任追溯;集成物联网、GPS 及视频监控技术,实现农产品运输过程的可视化管理,确保运输过程中农产品的安全与质量;销售环节功能记录农产品销售信息,为生产管理、投入品管理及销售策略优化提供数据支持,增强市场响应效率;提供基于农业物联网的追溯查询平台,使用户能通过多种终端进行溯源查询,实现农产品全程追踪。系统对相关信息进行综合记录与存储,支撑多个移动终端数据管理与分析。

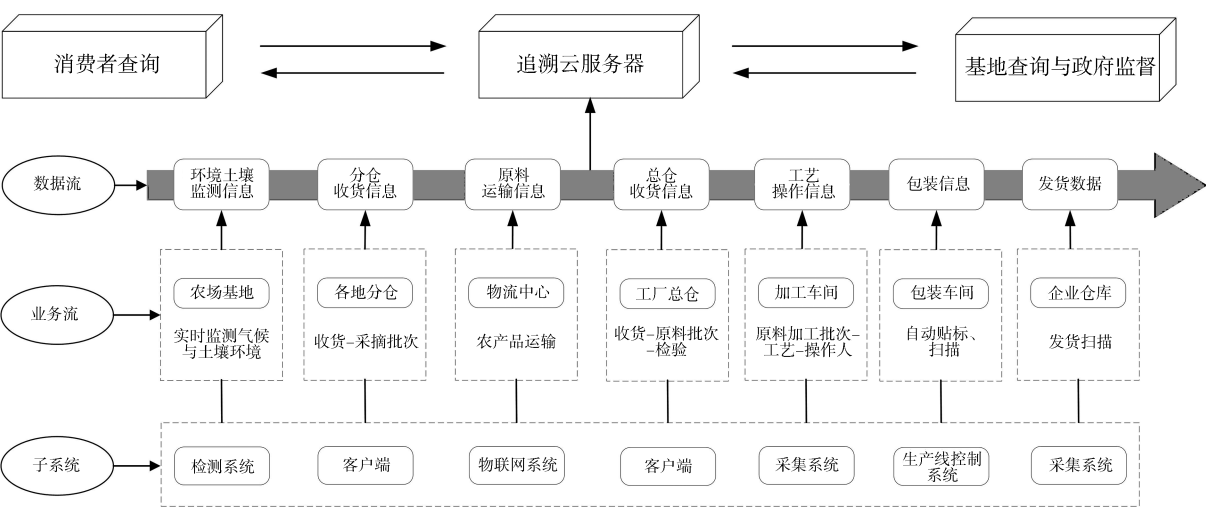


图 5 农产品安全的数字溯源系统

#### 四、数字农业发展的困境与建议

我国数字农业经历了数个重要发展阶段,目前正如雨后春笋,呈现显著发展态势。在政府和市场主体的积极推动下,农业智能化、信息化程度逐年增长,在数字种植、数字畜牧和数字渔业等多个场景实践中给出高质量技术解决方案,提供多场景、全产业链的综合服务,有效提升农业生产的科学性和精准度。但农业的数字化转型发展同样面临着诸多挑战,需要坚持系统化思维,进一步完善行业解决方案与相应配套。

##### (一) 当前数字农业发展的困境

数字农业成为现代化农业关键驱动力的过程中面临着诸多困境,资本投入、企业主体培育以及基层治理转型问题较为突出。社会资本投入数字农业领域建设热情低,地方在推动数字化转型上具有“赋能”与“负能”双重性,严重制约了农业数字化转型。

一是数字农业发展的政策驱动性强,市场化发育程度不足。在数字化农业的快速发展阶段,资本市场对数字农业的参与度显著不足成为该行业发展的重大制约因素。数字农业建设

具有高投入、长周期及高风险等特性,高额的初期投资和较长的资金回收周期对于大多数寻求快速回报的投资者来说是一个巨大的障碍。技术与资本是双生子,但资本市场对数字农业能够带来的长期回报保持观望且态度相对保守。同时,数字农业项目的成功实施往往需要跨学科的知识和技术,增加了项目的复杂性和不确定性。数字农业正处于尴尬的发展境地:一方面数字农业的迭代更新需要市场主体的创新精神与资本投入,另一方面目前进入这一领域市场主体的技术能力与经济实力又有明显的先天不足。

二是作为数字农业发展主体的各类企业,其农业数据服务的产品供应能力不足,与国际比较更为明显。数字农业的实施不仅涉及技术的升级,更是对传统农业经营模式的重构。数字技术的引入使得农业生产的各个环节可以实现更高效的整合与优化,从而要求农业企业主体具备与传统农业不同的技能和素质。目前,中国数字农业经营企业对数字化转型的重视程度和方向具有偏差。众多企业在数字化的道路上过度依赖硬件投入,未能充分认识到软件 and 数据处理能力在数字农业中的核心作用。

这种不稳定的发展模式导致数字农业通过数据驱动和智能化技术优化农业生产流程的本质特征未能得到充分体现。相较于众多数字农业企业所采取的机械化的单纯劳动力替代,企业应更加注重于数据的深度挖掘和智能化应用。数据作为数字农业的核心资源,其采集和应用是衡量企业发展成熟度的关键。当前许多企业虽在数据采集上投入重金,但在数据质量控制、分析加工和建模应用等方面相对滞后,反映出企业在明确商业化路线和数据运营技能方面的不足。农业数据服务产品化能力普遍不足,诸多企业缺乏创新能力,停留在模仿和小幅度改进,陷于低水平陷阱难以实现跨越式发展。总体而言,中国数字农业企业亟需明确商业化方向,提升数据的应用效率并优化产品服务能力以及创新能力。

三是数字治理能力缺乏,有效的数字供给制度不完善,存在数字“负能”的风险。在农业数字化转型的关键阶段,数字治理能力对数字农业发展的影响尤为深刻。数字治理作为一种创新的治理工具在理论功效与实际成果之间具有不一致性,在促进或阻碍农业数字化转型升级方面扮演着双重角色,这种双重性体现在数字“赋能”与数字“负能”的一字之差上。一方面,一些地方政府在追求政绩的驱动下忽视实际发展条件,盲目推进数字化项目,从而影响项目的实际效果和可持续性,不仅未有效解决农业发展实际问题,还导致了数字技术应用与建设目标的错位情形。另一方面,快餐式的数字化建设催生出“伪数字化陷阱”现象。在追求快速成果和试点亮点的过程中,一些地区 and 企业的数字化建设采用了表面化和短期化的策略,做表面功夫,“数字上墙”现象明显,造成了资金与资源的严重浪费。

## (二) 深入推进数字农业发展的建议

首先,对标国际发达农业的数字农业技术与行业方案开发,构建高水平的数字农业应用场景。发达国家如美国、德国、日本及英国的先进做法,展现了系统化管理、技术创新、框架逻辑与生态系统建设对促进数字农业进展的重要性。德国通过完善的法律框架与社会化信息服务保障农业信息化。美国依托网络与遥感技术高效管理农业资源,并通过 AGNET 网络促进农业信息共享与决策。英国的一体化观测系统、日本在植物工厂技术研发的领先、德国的技术集成及在线服务平台,以及美国与以色列在市场化与专业化创新方面的实践,均为中国提供了宝贵借鉴。基于此,重视政策、资金、技术及人才的四维生态系统构建,推动物联网、大数据、精准与智慧农业的综合发展,是确保数字农业高效发展的关键路径。

其次,强化农业企业在数字化转型中的主体性作用。通过强化企业在农业数字化转型中的核心作用,解决企业主体培育困境。这包括提升企业在数据处理和创新方面的能力,鼓励其探索新的商业模式,以更好地将数字技术整合到农业生产,达成技术创新与行业应用的深

度融合。鼓励大型科技企业利用其科技优势积极参与农业生产的全环节数字化转型,延长农业数字化产业链,激发中小型科技企业参与数字转型的积极性,形成集群化企业共同体,并为中小型企业提供必要的技术咨询、资金支持和市场接入机会。

最后,推进与农业数字化转型相配套的治理体系,推进农业数字化转型需充分释放现代化治理效能。通过提升基层决策者的数字素养和决策能力,加强对数字化项目的理解和规划能力。坚持以人民为中心,确保项目规划和实施过程中充分考虑并融入当地群众的需求和反馈,保证项目的实际适用性和可持续性。坚持协同治理,构建多方协同的治理机制,发挥多元主体参与治理的积极性,形成上下良性互动的治理模式,通过定期评估来确保数字化项目的实施效果,保障资源的有效利用和项目的长期可持续发展。

参考文献:

[1] 陈江,熊礼贵.数字农业内涵、作用机理、挑战与推进路径研究[J].西南金融,2022(10):92-102.

[2] 宋常迎,郑少锋,郑雯雯.“十四五”时期数字农业关键技术发展的创新路径[J].科学管理研究,2022,40(1):79-85.

[3] 张美慧.国际新经济测度研究进展及对中国的借鉴[J].经济学家,2017(11):47-55.

[4] 王娟.数字经济驱动经济高质量发展:要素配置和战略选择[J].宁夏社会科学,2019(5):88-94.

[5] 刘军,杨渊璧,张三峰.中国数字经济测度与驱动因素研究[J].上海经济研究,2020,32(6):81-96.

[6] 张晓山,韩俊,魏后凯,等.改革开放40年与农业农村经济发展[J].经济学动态,2018(12):4-16.

[7] 侯明利,郝新哲.数字技术如何推动农业高质量发展——基于要素流动的中介效应与产业结构转型的调节效应[J].河南师范大学学报(哲学社会科学版),2023,50(6):21-28.

[8] 张蕴萍,栾菁.数字经济赋能乡村振兴:理论机制、制约因素与推进路径[J].改革,2022(5):79-89.

[9] 李晓华.数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制[J].改革,2019(11):40-51.

[10] 胡煜,罗欣伟,王丹.数字革命:新时代的产业转型逻辑[M].北京:电子工业出版社,2020:158.

[11] 李健.数字技术赋能乡村振兴的内在机理与政策创新[J].经济体制改革,2022(3):77-83.

[12] 刘元胜.农业数字化转型的效能分析及应对策略[J].经济纵横,2020(7):106-113.

[13] 张鸿,王浩然,李哲.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[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2021,50(3):141-154.

[14] 阮俊虎,刘天军,冯晓春,等.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.

[15] 罗浚文,李荣福,卢波.数字经济、农业数字要素与赋能产值——基于GAPP和SFA的实证分析[J].农村经济,2020(6):16-23.

[16] 马述忠,贺歌,郭继文.数字农业的福利效应——基于价值再创造与再分配视角的解构[J].农业经济问题,2022,43(5):10-26.

[17] 刘海启.以精准农业驱动农业现代化加速现代农业数字化转型[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):1-6.

[18] 温涛,陈一明.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[J].农业经济问题,2020,41(7):118-129.

[19] 陈加乙.应用大数据着力发展数字农业[J].中国农业资源与区划,2022,43(6):152.

[20] 杜剑,徐筱莼,杨杨.数字农业推动高质量发展的路径机制分析[J].贵州社会科学,2023(6):160-168.

[21] 钟文晶,罗必良,谢琳.数字农业发展的国际经验及其启示[J].改革,2021(5):64-75.

(责任编辑:宋雪飞)



Development Process, Application Scenarios, and Optimization  
Pathways of Digital Agriculture: A Discussion Based on Digital  
Agriculture Application Scenarios

WANG Haixia    QU Linjing

**Abstract:** Traditional agriculture is experiencing a significant shift driven by digital technologies, with the future of farming increasingly trending towards the advancement and transition to digital agriculture. Considered the digital amalgamation of agricultural production elements and processes, digital agriculture strives for comprehensive enhancements across the agricultural value chain through networked, automated, intelligent, and precision-based operations. This research concentrates on cataloging the diverse applications of digital agriculture within various fields and sectors, and presents case studies illustrating the application scenarios that digital agriculture has facilitated for industrial growth. Digital agriculture provides innovative technical solutions for managing agricultural production, with its essence being the digital execution of numerous agricultural application scenarios, including digital planting, digital greenhouses, digital livestock rearing, digital aquaculture, and digital traceability of agricultural products, among others. In summary, while China’s digital agriculture has made notable strides, it is still in its infancy, exhibiting areas for improvement and optimization in foundational infrastructure, marketization levels, data provision entities, and digital governance proficiency.

**Keywords:** Digital Agriculture; Application Scenarios; Technical Solutions; Development Challenges

(上接第 131 页)

Argument Against the Independent Compensation for  
Usufruct Rights in Collective Land Expropriation

HUANG Zhong    WEI Xiazhen

**Abstract:** Article 327 of the Civil Code does not implicitly suggest that the right of usufruct should be compensated independently. In fact, there are technical challenges to separately compensating for the right of usufruct due to the complexities in uniformly quantifying the value of usufruct rights, which vary in content. Furthermore, the independent compensation of usufruct rights encounters internal system conflicts, potentially encourages fraudulent claims for compensation, and raises the issue of double compensation. Additionally, unlike countries with private land ownership, our nation operates under a system of collective land ownership, which inherently restricts the disposal and earning capabilities of usufruct rights. Consequently, in our country, independently compensating for the right of usufruct could result in inequities between the parties involved in the usufruct contract, may be seen as infringing upon the interests of other collective members, and could deviate from the principles of collective ownership reform. As such, the policy objective of protecting the legitimate rights and interests of farmers whose land is expropriated should be progressively realized through enhancing the internal governance of rural collective economic organizations as legal entities, on the condition that the right of usufruct is not compensated independently.

**Keywords:** Collective Land Expropriation; Usufruct Right; Right to Land Contractual Management; Land Compensation Fee