

农业现代化研究
NONGYE XIANDAIHUA YANJIU
(双月刊)

第 41 卷第 4 期 (总第 239 期)

2020 年 07 月

目次

论稳定脱贫与乡村振兴的有机衔接 庄晋财, 黄曼 (549)

城镇化进程中的粮食安全问题: 一个研究综述 徐李璐邑 (557)

农业现代化与农民职业化耦合视角下新型职业农民培育路径——以黑龙江为例
..... 刘畅, 王思怡, 马国巍, 吴立全 (568)

交通基础设施、农业机械化与我国水稻生产 刘芳, 刘颖, 高奇正, 宋宝辉 (578)

中国农业全要素生产率的空间关联网络结构及驱动因素研究 张帆, 吴玲, 王富林 (587)

“一带一路”农业投资风险评估及其对农业“走出去”的启示 赵捷, 姜小鱼, 陈积分 (599)

中美农作物收入保险产品: 比较与启示 魏加威, 杨沛华 (608)

农村社会养老服务需求: 意愿与影响 唐娟莉, 倪永良 (618)

农村集体产权制度改革路径与实践剖析——来自西安市 21 个村庄的调研 高嘉祺, 薛彩霞 (628)

产权风险下农户农地无偿转包方式选择——基于正式制度与非正式制度视角 万晶晶, 王博, 钟涨宝 (637)

绿色认知、现实情景与农户生物农药施用行为——对意愿与行为悖离的现象解释 罗岚, 李桦, 许贝贝 (649)

土地确权对农户地权稳定性感知的影响——基于村庄内土地不平等视角的分析 张连华, 霍学喜 (659)

村主任激励机制对农民收入的影响——基于公共投资的中介效应 多吉班丹, 白云丽, 张林秀 (669)

非洲猪瘟疫情影响下我国畜禽产品价格波动的动态关系研究——基于舆情管理视角 段琮琮, 刘灵芝 (678)

数字合作社: 产销融合的农业智能系统 康孟珍, 王秀娟, 王浩宇, 华净, 董永亮, 徐振强, 李冬, 王飞跃 (687)

耕地质量管理绩效评价及障碍因子诊断——以陕西彬州市义门镇为例 杨凡雨, 邱孟龙, 刘黎明 (699)

桂西北喀斯特山区非共生固氮速率随退耕后生态演替变化特征 孙锡斌, 张青山, 肖孔操, 李德军 (709)

融合无人机影像光谱与纹理特征的冬小麦氮营养指数估算 杨福芹, 冯海宽, 肖天豪, 李天驰, 郭向前 (718)

引用格式：

康孟珍, 王秀娟, 王浩宇, 华净, 董永亮, 徐振强, 李冬, 王飞跃. 数字合作社: 产销融合的农业智能系统[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(4): 687-698.

Kang M Z, Wang X J, Wang H Y, Hua J, Dong Y L, Xu Z Q, Li D, Wang F Y. Digital cooperatives: Agricultural intelligent system integrating production and market[J]. Research of Agricultural Modernization, 2020, 41(4): 687-698.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2020.0042



数字合作社：产销融合的农业智能系统

康孟珍^{1,2}, 王秀娟^{1,2*}, 王浩宇^{1,3}, 华净^{1,2}, 董永亮⁴,

徐振强⁵, 李冬⁶, 王飞跃^{1,7}

(1. 中国科学院自动化研究所, 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190; 2. 北京智能化技术与系统工程
技术研究中心, 北京 100190; 3. 青岛中科慧农科技有限公司, 山东 青岛 266000; 4. 中国科学院科技战略
咨询研究院, 北京 100190; 5. 北京智禾生态科技发展有限公司, 北京 100102; 6. 浙江省农业科学院数字
农业研究所, 浙江 杭州 310021; 7. 中国科学技术大学计算机与控制工程学院, 北京 100049)

摘要：产销信息不对称, 缺乏资金、知识和经验是小规模农户发展的障碍。作为互助性经济组织, 农业合作社的经营受气候、市场和农户水平等自然、经济和社会因素的影响。如何贯通产销信息, 并基于需求精细核算成本和组织生产, 是合作社经营的重要内容。本文借鉴工业领域数字双胞胎的思想, 基于平行智能系统的描述、预测和引导, 提出合作社数字四胞胎(数字合作社)的构想, 服务合作社规划、准备、生产和评估的各个环节。同时对数字合作社的整体方案、系统设计及其关键技术等进行了描述, 并对数字合作社的用户及其运行机制进行了探讨。数字合作社系统框架包括数据感知、决策支持和决策实施, 其核心智能技术包括作物建模、动态规划、区块链技术、机器学习等。以有机水稻种植为例, 简述了合作社成本分析、种植规划、远程种植可视化等过程, 模拟水稻定制种植的场景, 以此说明数字合作社的部分功能。数字合作社的概念可为面向合作社的信息系统开发提供方向。鉴于目前以小农经济为主、合作社为主要经营主体的现状, 数字合作社系统有助于提升从业者的经营能力, 助力小农户对接大市场, 提升农业物理社会经济系统的整体效率。

关键词：数字合作社; 农业智能系统; 数字四胞胎; 智能技术; 产销融合

中图分类号: F304.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2020) 04-0687-12

Digital cooperatives: Agricultural intelligent system integrating production and market

KANG Meng-zhen^{1,2}, WANG Xiu-juan^{1,2}, WANG Hao-yu^{1,3}, HUA Jing^{1,2}, DONG Yong-liang⁴,
XU Zhen-qi⁵, LI Dong⁶, WANG Fei-yue^{1,7}

(1. The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Beijing Engineering Research Center of Intelligent Systems and Technology, Beijing 100190, China; 3. Qingdao AgriTech Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000, China; 4. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 5. Beijing Zhihe Ecological Technology Development Co., Ltd., Beijing 100102, China; 6. Institute of Digital Agriculture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021; 7. The School of Computer and Control Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract : The development of small-scale farmers face several obstacles, including the information asymmetry between production and marketing, and the lack of funds, knowledge and experience. Being a cooperative economic organization, the management of agronomic cooperative is influenced by natural, social and economic factors such as the climate conditions, market price, and the ability of farmers. The operation of the cooperative depend mainly on how to connect the information between production and market, evaluate the cost precisely, and organize the production according to the requirement. Learning from the idea of digital twins in industrial field, this paper proposes the concept

基金项目: 国家自然科学基金项目(31700315, 61533019); 中国科学院与泰国科技发展署合作研究资助项目(GJHZ2076)。

作者简介: 康孟珍(1975—), 女, 浙江宁波人, 博士, 副研究员, 主要从事智慧农业与计算植物研究, E-mail: mengzhen.kang@ia.ac.cn; 通信作者: 王秀娟(1982—), 女, 内蒙古赤峰人, 博士, 助理研究员, 主要从事智慧农业与植物模型研究, E-mail: xiujuan.wang@ia.ac.cn。

收稿日期: 2020-01-20, 接受日期: 2020-04-20

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (31700315, 61533019); Chinese Academy of Science (CAS) – Thailand National Science and Technology Development Agency (NSTDA) Joint Research Program (GJHZ2076).

Corresponding author: WANG Xiu-juan, E-mail: xiujuan.wang@ia.ac.cn.

Received 20 January, 2020; **Accepted** 20 April, 2020

of digital quads (digital cooperatives) based on the description, prediction, and prescription of parallel intelligent systems. The proposed digital cooperatives serve the cooperative management including planning, preparation, production, assessment, etc. This paper introduces the frame, design and key technologies of digital cooperatives, and discusses the potential user types and operation mechanism. The system consists of data sensing, decision support and decision execution, and the key intelligent technologies include plant modeling, crop planning, block-chain, machine learning, etc. Taking organic rice cultivation as an example, this paper briefly describes the whole process of cost analysis, crop planning, and visualization of remote planting for cooperatives. The simulation of the contract production process illustrate part functions of cooperative managers. The concept of digital cooperative can provide guidance for the development of cooperative-oriented information systems. Due to the situation that small-scale agronomical economics dominate, and cooperatives are main managing bodies, the digital cooperative is helpful in promoting the capacity of manager, supporting the small-scale farmers to reach big market, and augmenting the overall efficiency of the agricultural physical social economical system.

Key words : digital cooperatives; agricultural intelligent system; digital quads; intelligent technology; production-marketing integration

在大多数国家, 家庭农场是农业的主要形式。根据估计, 世界上至少有 5 亿个农场主要依靠家庭劳动, 占据了大约 70%~80% 的农田^[1]。农民以家庭为单位从事生产生活, 很难实现规模经济。小农户的基础设施薄弱和产品分散, 生产投入和市场交易成本高昂, 信贷服务获取不畅, 农民的技术能力不足以应对现代技术和不断变化的消费者需求^[2-3]。农民专业合作社是自愿联合与民主管理的互助性经济组织, 旨在降低小农户的经营风险, 提高农民收入。当前, 产销信息不对称, 缺乏经营的资金、知识和经验是农民专业合作社发展的瓶颈。如何利用智能技术, 服务农业合作社的创新和可持续发展, 打造产销融合、透明诚信的农业产业生态, 是本文所提出的数字合作社拟解决的关键问题。

农民专业合作社以成员为服务对象, 为其提供农业生产经营资料的购买、农产品的加工、运输、储藏和销售等相关技术信息的服务, 盈余按照成员与农民合作社的交易量比例返还, 帮助农民增加收入^[4]。农民专业合作社可以帮助农民克服生产和销售方面的限制^[5]。首先, 合作社可以提高农民的市场对接能力, 以低价购买优质投入品, 高价卖出优质农产品。其次, 合作社有助于实现食品可追溯性, 确保食品安全^[5]。

目前农民专业合作社在美国和欧洲等国家已成功发展甚至占主导地位, 并且在发展中国家的重要性也越来越显著^[6]。近几年, 发达国家的农业合作社从初始的以生产资料供应和农产品销售为主, 向产、加、销一体化经营方向发展, 业务涉及农产品的收购、储运、整理、加工和销售的多个环节, 包含从农业生产者到消费者的农产品流通全过程, 实现了纵向一体化^[7]。许多合作社不仅从事初加工, 而且发展到深加工, 如美国加利福尼亚州种植桃子的农场主, 组建合作社后, 建立了大型加工企业, 生产

罐头、果汁和快速冷冻食品, 社员生产的产品直接销往国内外市场^[8]。

自 20 世纪 90 年代以来, 农民合作社开始在中国兴起。由于这种新的农业生产形式可以更好地应对市场变化和全球化带来的挑战^[9], 其数量持续增长。农业农村部数据显示, 到 2019 年 2 月底, 依法登记的农民合作社达到了 218.5 万家, 成立联合社 1 万多家, 辐射带动全国近一半的农户。尽管如此, 与一些发达国家的合作社相比, 我国的农民专业合作社实力整体偏弱, 存在经营实力弱、承担风险能力差和运行不规范等普遍性问题^[10]。即使特色的专业合作社, 也存在合作社组织化程度低、销售环节多、市场信息不对称和交易成本高等问题^[11]。由于距离和销售渠道等原因, 农业产业链存在比较严重的信息不对称情况, 产销双方缺乏畅通的信息互换通道与信任机制。对于消费者, 随着其购买力的提高, 越来越关注食品质量和食品安全, 希望便捷地采购到优质平价的农产品^[12]。而对于种植者, 则希望所生产的产品能顺利销售。

随着全球化环境、信息与通信技术 (ICT) 的传播和使用, 整个社会正在发生重大变化, 形成了所谓的信息社会^[13]。近年来, ICT 在农业中的应用已不限于电子商务, 一些创业公司正致力于农业的信息管理, 包括与智能硬件配套的系统 and 纯软件系统。国外的农业管理系统如 Farmer's Business Network 和 Climate FieldView, 目标指向构建面向农业的上下游产业网络。国内虽然有将国外相关管理系统应用于农业的尝试, 但由于土地属性、农民特点和应用场景的不同, 往往不能直接应用。在智能决策支持方面, 虽然在企业管理、交通管理、医学诊断决策、甚至教育等领域已有很多应用案例, 但可应用于实际的面向农业种植的智能决策系统较少。国内农业智能系统的研究起始于 20 世纪 80 年

代^[14]，随着农业物联网和大数据的发展，应用系统的研究也需进一步更新。

早在20世纪80年代初，钱学森就指出：“在现代这样一个高度组织起来的社会里，复杂的系统几乎是无所不在的”，例如社会系统、经济系统、信息系统、环境系统和农业系统等。农业与其他系统的区别在于农产品具有生物学特性。工业4.0的数字双胞胎（Digital Twin）概念可以为处理农业领域的复杂系统提供参考，即以数字化方式构建一个物理对象，模拟对象在现实环境中的行为，对产品、制造过程乃至整个系统进行虚拟仿真，从而提高产品研发、制造的生产效率。随着大数据和互联网的深入发展，信息物理系统受社会因素的影响日益凸显，人的因素越来越多地嵌入在系统和信息之中^[15]。因此，面向物理世界和网络空间融合的信息物理社会系统（Cyber-Physics-Social System, CPSS）应运而生^[16]。其中的信息包含物理系统数据、虚拟的人工系统数据和泛在社会大数据等^[15]。近年来，已有关于农业作为社会、经济和物理系统的概念模型的研究^[17]。Kang等^[18]提出了一种考虑社会经济因素的农业信息物理社会系统。构建人工系统，而不是动态仿真式的数字双胞胎，通过虚拟和实际系统的平行运行，实现计算、物理和社会的动态交互、时空一致，处理不确定性，是解决CPSS问题的有效途径^[19]。

本文借鉴工业领域数字双胞胎的思想，基于平行智能系统的描述、预测和引导，提出合作社数字四胞胎（数字合作社）的构想，服务合作社规划、准备、生产和评估的各个环节。同时对数字合作社的整体方案、系统设计及其关键技术等进行了描述，并对数字合作社的用户及其运行机制进行了探讨。数字合作社系统框架包括数据感知、决策支持和决策实施，其核心技术包括作物建模、动态规划、区块链技术、机器学习等智能技术。此外，以河北阳原县泥河湾的有机水稻为例，简述了合作社成本分析、种植规划、远程种植可视化等过程，模拟水稻定制种植的场景，以此说明数字合作社的部分功能。数字合作社的概念可为面向合作社的信息系统开发提供方向，为合作社经营者提供产销共建、智能排产、产品溯源、网上农田等服务。

1 数字合作社与传统合作社

数字合作社与传统合作社的共同之处在于基本的合作运营机制，例如股份合作、风险共担和利益共享等。但并非实际合作社的线上版，而是在数字

空间乃至认知空间对合作社进行设计和管理。

数字合作社与传统合作社的主要区别包括两个方面：第一，数字合作社可突破农民成员的占比限制，探索不同的合作社构建模式。通过增大非农成员的比例，可以更好地吸纳城市消费者加入，从一开始就建立产销对接关系。种植方可凭借生产资料（如土地）或劳动力，折算成股份技术入股；消费者通过缴纳一定的资金入股，用于购买农业生产资料的各项支出，组织和运营农业生产所产生的管理费、信息采集费、系统维护费和第三方服务费等支出。其他的组织活动大多可参考农民合作社的方式，包括合作联社的组织；其二，数字合作社突破了地理位置的限制，基于数字空间的智能合约而建立，在数字空间进行产销之间的需求表达、种植方案计算和推荐，因此，成员之间基于网络共建产销一体的合作社。当然，根据作物类别和经营者的考虑，数字合作社也可以限定于某个城市及周边区域，方便组织线下的社员活动。

与传统的农民合作社相比，数字合作社具有如下特点：1）合作社的地域范围从单一农村扩展到带有消费终端以及市场服务的城市，促进城乡一体化发展的模式；2）合作社的领域从偏重农业生产端服务扩展到了消费端服务，深度融合产业链上下游；3）合作社的运营主体为更具专业化服务的第三方，减少了对本地农户自身种植知识和市场经验的依赖；4）在数字空间将零散的小农户组织起来，以小聚多，实现小农户和大市场的信息接轨。

2 数字合作社方案

2.1 数字合作社模型

数字合作社指在虚拟空间构建农业社会物理信息系统，综合运用农业互联网、农业物联网、大数据、云计算和智能代理等技术，基于描述智能、预测智能和引导智能，进行合作社团队组织、种植规划、成本核算等，服务农业生产的精细管理与控制，促进人工智能技术与健康种植理念的深度融合，助推新型农业产业的发展，以此方式构建涵盖产业链各环节的网络社区。其主要技术核心特点是“透明生产+可计算”，通过可计算的农业实验实现数据的精算。本文借鉴军事管理与控制领域的经验^[20]，提出的数字合作社的闭环规划和管理过程，包括规划、准备、生产（执行）和评估4个环节（图1）。基于人工系统的构建，数字合作社可对每一茬种植在数字空间操作及推演这些过程。

2.1.1 规划 确定合作社后，农业中的规划主要指种

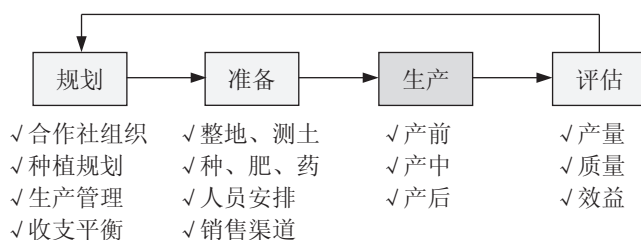


图 1 数字合作社的闭环规划和管理过程

Fig. 1 Closed planning and management loop for digital cooperatives

植规划，即农业生产中对作物品种、种植时间、种植面积、对应地块和施肥打药等一系列措施的选择，其决策要考虑如何优化利用土地、设施等资源，增加产出，适应自然条件和市场需求，以保障生产的经济效益。种植规划伴随着农业的产生而出现，其中合理筹划农事的经验富于运筹思想。

生产效益是合作社经营的一个重要目标，也是合作社可持续运行的保障。由于人员教育程度、经验等原因，对成本和风险分析往往被忽略。根据经验，在不发生意外的情况下，农业的各项投入可基于经验进行测算，包括肥料、农药、土地、劳动力、运营和物流等各项成本。基于对产量的估计，可测算出何时收支平衡，为价格确定和合作社社员招募提供依据。在一期生产之后则可进行校验和更新。

2.1.2 准备 与规划相比，准备期的时间窗口缩小，主要是为即将实施的动作所做的一系列准备工作，例如产前的整地准备，农事操作前的肥药等农资准备，产后的包装服务等。对于有经验的农户，这些工作心中有数，而对于新手则可在规划的指导下有序展开。

2.1.3 生产 生产环节的时间窗口进一步缩小，生产任务分解到每日具体时间的工作安排。生产分产前、产中和产后 3 个环节。产前实施的具体任务包括整地、生产资料的准备等；产中根据种植规划进行生产，任务包括栽培、病虫害防控、施肥和浇水等；产后包括收获后分选、加工、储藏、运输和销售等任务。产后是获得生产价值的关键环节。

2.1.4 评估 评估涉及生产经验的及时总结和积累。评估的内容包括农产品的产量、质量、效益以及与各方投入的关系。特别地，农产品的质量和产量形成是个非常复杂的过程，涉及所在地理位置、气候条件和管理措施等。农产品的产出品质和产量稳定与否对订单生产、精细定价有很大影响，尤其是对以小农户统一对接大市场的情况。在这个环境下，农产品质量分选系统是需求量较大的装备。目前已有一些生态农场在农产品验收时采用的一系列评价

标准。信息化系统则可对已有实际评价指标进一步提炼和推广。

2.2 数字合作社组织

数字合作社不仅涉及合作社的动态构建，而且需考虑其构建后的管理过程（图 1），因此合作社的组织是规划的一个重要部分。为保证产销对接，基本组成方包括生产者、消费者和经营者。生产者是指具有土地、农业设施（如大棚）或劳动力的个体种植者、种植大户或合作社。消费者指期望获得优质农产品的终端个体、机构（如超市、食堂）或采购者。为保证线上平台的运行，第三个基本角色方是经营者，负责线上与线下的互动、线下的资源组织和方案实施，可为农民合作社提供质量检测、物流、农资、农技、农机和金融等服务或外包。三方共同构成了一个可定义边界的人工社会系统（图 2）。

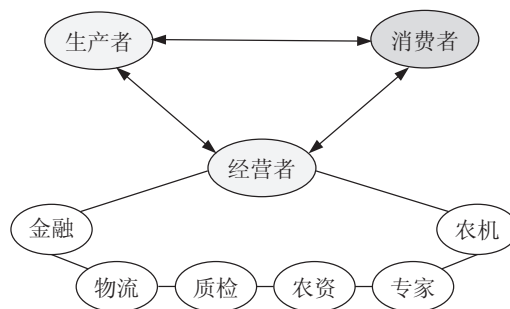


图 2 数字合作社角色构成

Fig. 2 Roles of digital cooperatives

数字合作社提供联合产销两端主体的组织方式，从源头上解决产销信息不对称的问题。实体合作社要求农民至少应当占成员总数的 80%（2006 年《中华人民共和国农民专业合作社法》），数字合作社可突破农民成员的占比限制；通过增大非农成员的比例，可以更好地吸纳城市消费者加入，从一开始就建立产销对接关系。种植者以土地和劳动力折合入股，消费者以其前期现金投入入股，经营者以经营付出入股，按股权进行合作社的决策管理和二次分配。

2.3 数字合作社中的平行智能

如上可以看出，数字合作社的关键是方案的规划及动态更新，以弥补经营人员在知识、经营方面的不足，降低学习和试错成本；同时，通过产销信息对接，降低产品滞销的风险。平行智能^[21]通过描述、预测和引导的迭代运行，加上实际系统在信

息空间的映射，构成合作社的数字四胞胎（图3），为合作社的管理提供支持。可见与实际合作社所在的物理域相对比，数字合作社主要在信息域和认知域，再反作用于物理世界中的合作社。下面详细介绍除实际合作社（物理系统）外的数字四胞胎中描述、预测和引导3个方面。

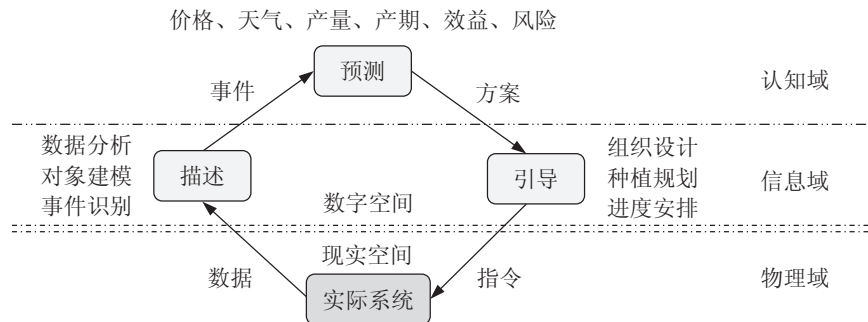


图3 数字合作社的平行四胞胎

Fig. 3 Parallel quads of digital cooperative

2.3.1 描述 描述智能（descriptive intelligence）解决如何在虚拟空间构建人工系统、描述实际系统的问题。描述智能是通过从实际系统获取的数据，结合已有的农业和管理知识，进行数据分析、对象建模、事件识别等。数据包括种植环境、农事管理过程、农产品产量与质量、价格等，以不同渠道获取，包括农业物联网、移动互联网、公开的市场价格等。例如 Weng 等^[22] 基于北京新发地批发市场的开放价格数据应用人工智能算法对未来几周、几月的农产品价格进行预测，为采收和种植提供支持。Hua 等^[23] 基于历史的天气数据进行作物关键生育期的预测。Qu 和 Hu^[24] 构建数据驱动模型，对不同种植时间的番茄产量进行计算。

农业信息化是描述智能的基础，用于获取生产相关的各种数据。基于这些数据，可以设定评估指标，对生产过程进行画像，从中也可识别出生产管理过程中的特殊事件^[25]。此外，农业方面已有大量的知识积累，数据和知识共同驱动的描述智能可减少数据量的依赖。知识的表达方式可分为两类：一类是量化计算的作物模型，其中包含了对作物生长规律的提取。例如在产量预测中，数据和知识共同驱动模型可同时计算多种产出，充分利用了对作物生长过程基本规律的认识，同时将环境的复杂影响用经验模型表达^[26-27]。另一类是描述性的语言表达，将知识转化为数据，基于知识图谱为用户提供知识问答^[28]。知识图谱，旨在描述真实世界中存在的各种实体或概念及其关系。描述知识的语义网络图中，节点表示实体或概念，边则由属性或关系构

成。农业知识图谱是在农业这个专业领域的知识图谱，除了将专家知识整理成为知识图谱之外，还可以从大量的农业专著中，通过实体识别和关系抽取提取三元组从而转化为结构化知识^[29]。农业问答中，首先通过命名实体识别解析问句里面的农业实体，再通过实体链接，链接到农业知识图谱里对应的实体，返回对应的三元组作为应答。

2.3.2 预测 预测智能（predictive intelligence）是建立在描述智能基础之上的对未来发展的预估和优化，基于计算实验实现，反映的是在当前和过去的规律掌握之上对未来的认识。计算实验领域已有较成熟的理论和方法^[30]，其中对哪个方面未来的预测取决于管控的需求。对于数字合作社，其组织设计需要计算收支平衡点，因此需要预测种植的效益。效益的评估基于对产量、产期和农产品价格的评估，而产量和风险又取决于对天气和市场行情的预估。计算实验往往涉及多学科的知识和方法。预测智能基于计算实验对未来进行预估，回答“在何种天气环境下、种何种作物、满足多少人需求”的问题。以设施农业为例，2018年起，荷兰瓦赫宁根大学组织国际人工智能温室种植挑战赛，吸引了微软、腾讯等IT领域的团队参加；团队一般为多学科背景，需综合考虑环境调控对作物产量、投入品使用和最终效益的影响。对于涉及产销两方的数字合作社，实质上构成了一个人工社会，加上自然环境，共同构成了一个农业社会物理信息系统^[18]。计算实验方法可模拟系统行为，例如不同种植面积下的单位面积效益和总效益；结合优化方法，为实际系统的管

理提供参考,例如为了达到每周稳定供给农产品的排产方案(何时种、种植多大面积)^[18]。

2.3.3 引导 引导智能(prescriptive intelligence)是通过描述智能和预测智能寻找有利的或优化的策略,在人工系统与实际系统的平行执行过程中,两者持续地相互作用、相互反馈和相互引导。不仅要利用“当前和过去的数据”,还要综合考虑期望结果、所处环境和资源条件等更多影响因素,在不断地对比分析所有可能方案的基础上,提出“可以直接用于决策的建议或方案”^[31]。简而言之,一切的计算最终要给出“有用的”方案。对于数字合作社,引导智能从组织设计开始,即如何设计合作社的参与方,使得各方的诉求得到保证。基于透明经营的原则,对产量和成本进行分析,计算出需要多少的消费者社员、投入多少现金来保证收支平衡,以及增加新社员时带来的收支平衡的自动更新。在确定组织和各类资源后,基于共同的种植理念,引导智能为经营者提供种植时间、肥药方案等策略,并且所提供

的方案在应用时随着实际作物生长情况自动更新。此外,引导智能用于资源调度的安排,例如何时购买农资等,使得经营者更为合理地安排资金和人力。平行执行的必要性在于实际系统与计算实验所计算的理想系统之间会存在差异,因此管理措施需随着实际情况而调整。例如基于作物图片可提取作物的生育期、产量预估等信息^[32],结合实际监测的环境和作物生长情况进行施肥方案的动态调整。

3 数字合作社的总体设计

3.1 数字合作社的总体架构

数字合作社的总体架构包括信息感知、决策支持和决策实施(服务)3个方面(图4)。数字合作社的平台设计采用CPSS的理念,信息采集包括物理信息(作物环境、作物生长状态、设施状态)和社会信息(生产者的管理记录、农产品价格)等。与传统信息系统相比,增加了人的维度,使得系统既能为人提供智能服务,又能学习用户的管理经验。

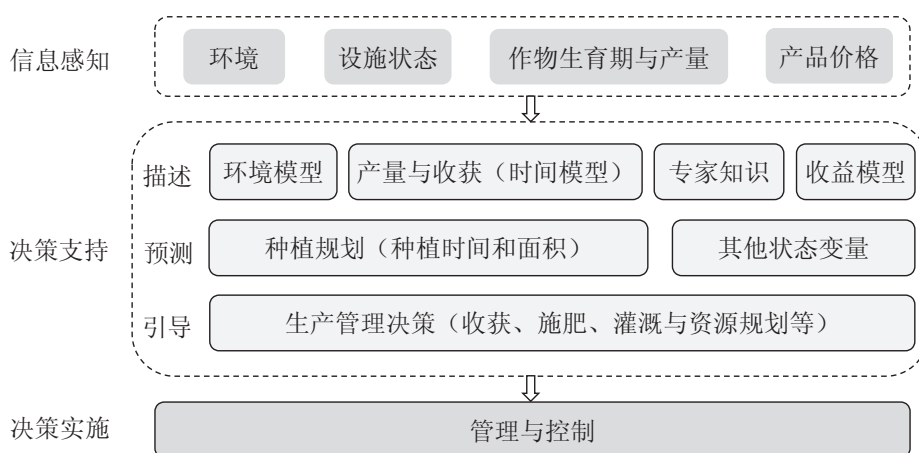


图4 数字合作社的总体架构

Fig. 4 Framework of digital cooperatives

决策支持是系统的核心,对数据进行处理,融合作物的知识,基于建模、智能计算、优化算法为合作社提供所需的支持。以作物生产管理为例,系统可以根据已有种植案例提供初始种植指导(图4),并以直观的图形方式提供种植方案推荐并记录种植过程的功能。在实际生产中作物和环境千差万别,计划的管理措施不一定按计划中所列出的执行。系统结合实际的环境监测和用户反馈,在服务器端进行虚拟的计算实验,进一步提供决策支持。资深的技术人员了解当地作物的管理过程,进行远程查看和指导,进行人机互动。

决策实施以环境的自动控制或管理软件方式呈现(本地系统)。软件的功能基于需求分析而产生,

贴近实际需求。

3.2 数字合作社的用户

3.2.1 直接用户 平台的直接用户是农民合作社的经营者。在生产管理方面,平台提供贯穿产前、产中和产后的服务。产前进行种植计划安排,根据生产经营目标、种植对象,提供种植对象管理过程的建议。以番茄为例,进行不同生长时期的施肥灌溉和病虫害防治的管理方案。这里更强调健康管理,即如何预防可能的病虫害,减少用药。系统给出实施某项措施的时间,实际生产中由于气候因子、管理措施的差异,措施的应用时间可能会随着用户的实际操作而调整。系统提醒用户记录所有的操作过程,以便基于数据对不同措施的影响进行分析。给用户

带来的直接效果是有序管理生产。在生产环境控制方面，以普遍使用的日光温室为例，目前最大的需求是通风口的控制，实现温室内部的温度和湿度的调节。管理和控制两个部分相互关联：生产管理中的措施安排往往与生育期有关，而生育期与作物的温光环境密切相关，后者可通过物联网设施获取和控制；环境控制中的阈值设置与管理需求有关，例如在开花坐果期，对环境的要求非常敏感。因此，生产管理系统需融合管理和控制的功能，为生产者提供直接服务。系统的价值在于通过连接间接用户解决知识不足和信息不对称的问题。

3.2.2 间接用户 平台的间接用户包括农民合作社中涉及的各种利益相关者，包括农资提供方、农机提供方、农产品批发商、第三方金融机构、政府和个人消费者等。利益相关方利用数据实现自己的价值，例如农资提供方根据农户的种植对象提供技术建议和销售农资。为了实现各自的价值，信息流是双向的。不同的利益相关者提供服务，在系统中约定明确的服务协议和计费方式，从而提供一个网络连接的平台，构成一个虚拟的数字社会。以第三方服务机构为例，如农业保险，其最具挑战的问题在于找到有信用的农户。由于农户普遍缺乏银行体系的信用数据，目前往往通过第三方走访、当地居民口耳相传的方式进行信用评估。农田的数据管理为保险提供数据支持。在双方达成一致的前提下，可开放数据接口，提供生产数据。个人消费者的诉求则是健康的农产品。目前有不少个人消费者愿意以高于一般市场的价格订购农产品，这类用户对于农产品的安全要求比较高，愿意为透明的生产过程信息买单。通过数据的对接，服务此类用户的系统可与生产管理系统进行数据交换。

3.3 平台的可持续运行机制

平台设计的考虑是通过专业化分工与信息对接，使得农户只需要专注于种植生产本身，而减少在销售、管理上的风险和精力，令参与各方发挥各自的价值。专业的农资提供方往往伴随着实操的农技咨询服务，甚至为了推销农资为农户提供农产品销售服务；消费者群体已经从单纯吃饱转向健康的饮食需求，愿意为优质农产品买单；而技术与市场都是农户希望对接的资源。农业生产经营者为平台的核心。平台设计的理念在于基于信息的及时对接减少由于产销信息不一致而带来的农产品浪费，以及相应的资源浪费对环境的影响。平台倡导健康的可持续的种植方式，一方面通过农业技术的服务，另一方面通过消费者的订购，为用户产生的附加值

可保障平台的可持续运行。从政策层面来说，中国的乡村振兴战略重视农业和农村的发展，倡导家庭农场、农民合作社和专业化农业服务组织的发展。以上需求和背景为数字合作社的发展提供了广阔的空间。

4 数字合作社关联的关键技术

平行智能涉及不同细分学科的多种技术，除了共性的人工智能领域的方法，还有一些相关的关键技术。

4.1 作物建模技术

作物的产期与产量预测是产销对接、生产管理的基础。尽管对于一个有经验的农户，预测种植作物的产出并非难事，但是对于涉及不同区域和作物的智能系统，需要对作物生长进行建模。而作物生长受品种、环境和管理因素的影响，是一个非常复杂的动态过程。自20世纪60年代以来，作物模型的研究涉及对于作物光合作用、呼吸作用、物质分配和结构形成等各个方面，复杂度也各不相同^[33-35]。时间尺度从秒到年，空间尺度从细胞到区域。在实际应用中，需对模型进行取舍。例如Hua等^[23]仅基于温度预测番茄的开花期，用于作物供应链中产销信息对接。一般来说，经验模型比机理模型简单易用，但其参数需根据实际进行更新。

4.2 农业知识自动化

理想情况下，智能系统能够回答在何种环境下、适合种什么作物、何时种植的问题，进而能够回答某种作物在种植过程中可能有哪些病虫害、如何预防，以弥补经营者的知识不足。对知识的需求存在深度和广度两个维度。知识自动化提供从已有的数据中自动挖掘、整理和积累知识的系统^[36]，为经营者从浩瀚的信息中梳理出需要的知识和信息，为经营者提供外脑。如前所述，知识自动化依赖于知识图谱的构建。目前，不少平台的问答是真实的农业专家在网络上提供回答。然而农业专家有限，难以进行更大范围的应用和推广。近年来，自然语言处理技术发展迅速，日趋成熟。相关技术可用于农业问答系统的构建。

4.3 基于代理的计算实验

由于农业生产经营的多样性和不确定性，针对农业生产和销售这一生态系统，计算实验可以通过改变各种因素的组合方式，进行系统行为评估，以及压力实验和极限实验，计算在何种条件下具有最佳的投入产出比等^[30]。农业人工系统中，作物、种植者、农业设施等均可抽象为代理，可视为真实世

界的数字游戏。基于代理的计算实验一方面为经营者提供培训和学习的机会,另一方面可使经营者心中有数。

4.4 区块链技术

数字合作社透明经营、去中心化的理念与区块链技术天然吻合^[37]。合作社的组织是个动态过程,基于一定的合约而建立,认同合约则自动启动后续的流程,正如区块链技术的智能合约^[38]。合作社各方的信息真实性可以通过区块链的分布式存储来保证,并通过共识信任、时间戳等保证信息的难以篡改。区块链技术的应用可在底层改变数据的存储和修改方式,从技术上为数字合作社的经营风险防控提供保障。

4.5 可视化技术

一图胜万言,透明信息的可视化表达可以有效地传递信息,拉近人的心理距离。利用作物三维建模和三维地理信息技术(<http://bionatics.com/Site/company/presentation.php>),可以基于 web 展示农田的生产进程,进行信息的直观表达,增强产销双方粘性。作物三维形态可以基于虚拟植物的模拟技术产生^[39],也可以基于三维点云数据重建^[40]。

5 基于计算实验的数字合作社规划示例

为便于理解数字合作社的作用,以河北阳原县单季种植的泥河湾有机原种贡米种植为例,说明从规划到可视化的过程。问题源于北京的城市消费者对高品质有机大米的需求,认可种植方兼技术人员的有机种植技术。双方已有多年的信任,消费者方也有意投入资金,但是进行较大面积的种植需要量化成本,以便对成本有预估,作为建立合作社的基础。种植方采用贡米原种植,该品种大米的市场参考价格为 56 元/kg。

5.1 成本核算

农业生产成本核算既是合作社可持续经营管理的需要,也是投资者与种植者之间沟通的需要。生产经营规划的重要方面是列出所有种植的成本。农业经营者往往缺乏成本核算意识,因此常常会出现增产不增收、生产效益低的情况。如何降低生产成本,管控经营风险,是农业合作社必须具备的能力。农业企业缺乏成本核算的相关制度,因此需要农业经营者自行理顺。

表 1 展示了种植有机原种贡米水稻的成本。水稻采用可留种的品种,产量偏低;种植全程使用有机肥,不打药。为进行成本核算,首先列出所有相关成本价格,包括种、肥、地、人工、包装和物流等,

由此估算成本和市场指导价格。通过成本分析发现目前人工成本占比较高。需要注意的是,单位面积的成本随着种植面积的变化而变化,如劳动力成本、物流成本等,随着种植面积增加,有必要通过机械化手段来控制成本。

表 1 有机原种水稻种植成本分析

Table 1 Cost analysis in planting organic rice

项目	明细	费用(万元/hm ²)	占比(%)
直接费用	人工	2.25	31.7
	地租	1.50	21.1
	种子	0.60	8.4
	有机肥	1.40	19.8
	碾米费	0.45	6.3
	物流费	0.32	4.5
	包装费	0.32	4.5
间接费用	管理成本	0.26	3.7
合计		7.11	

5.2 收益预测

从生产经营的角度看,每一茬种植计划的执行都如同做一份商业计划书。基于成本分析,加上单位面积产量估计和预期的利润,可估测出大米的成本单价和市场指导价格。在此基础上,引入种植面积的变化,可以模拟随着种植面积增加的效益分析,从而为制定规划提供参考。该环节发生于实际生产记账之前,主要用于初步评估生产的利润和风险,对应于图 4 中的预测阶段。

通过在系统中模拟有机原种水稻单位面积产量和单位成本,可分析种植收益(表 2)。该分析计算中,除采用表 1 中的参数,还假设所获得的利润在种植者、经营者和消费者之间以 3:4:3 的比例分配。种植者的收益除了利润的 30%,还包括租地和人工收入 3.75 万元/hm²。经营者的收益除了利润的 40%,还包括管理成本 0.26 万元/hm²。消费者的收益除了利润的 30%,能获得远低于市场参考价的优质有机贡米。各方各自销售所得的利润未在考虑范围。除了总体收支平衡计划,还可测算按时间规划的种植方案、资金使用计划和现金流预期。

表 2 有机原种水稻投入产出表

Table 2 Input-output of organic raw rice

投入产出	收益
总现金投入(万元/hm ²)	7.11
大米产量(吨/hm ²)	3.20
大米销售收入(万元/hm ²)	8.54
大米销售利润(万元/hm ²)	1.43
种植者总收入(万元/hm ²)	4.18
经营者总收入(万元/hm ²)	0.83
消费者总收入(万元/hm ²)	0.43

如果消费者本身是一家 500 人的企业，以平均每人每年消费 100 kg 有机原种贡米估算，假设每户为 3 口人，则 1 500 人每年所需量为 150 t，对应于大约需 46.9 hm² 的种植面积。通过这种合作模式，可各自获得所需。在各方认可投入产出后，则可组建合作社机构，进入生产阶段。

5.3 种植规划

种植规划中的农事安排则体现随时间的进度计划。例如图 5 表示一个不同月份的水稻用肥计划，

使得在种植前心中有数。在规划阶段，时间的安排为大致范围。具体准确时间在实施中根据实际情况而更新。规划内容在实施中是动态的，由于实际生产场景的差异性，种植方案可能会随着天气和作物情况进行调整，因此引入平行智能为种植规划提供支持。图 5 展示了一个水稻种植规划的示例。用户端可通过手机的微信小程序随时查看种植进展。小程序自动获取拍摄时间、地点和当地气候，以时间轴顺序展示，方便用户浏览。

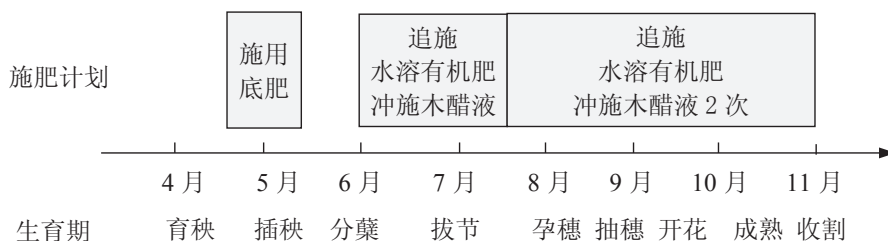


图 5 种植规划示例

Fig. 5 An example of planting schedule

5.4 虚拟农田

对于多种作物种植的情况，种植规划结果的表达可采用类甘特图的方式，图 6 所表示的一个简略的种植时空安排方案，其中框中不同编号表示种植作物的编号，横坐标表示时间（年 / 月），纵坐标表示地块编号。

借助于三维地理系统，较为抽象的地块编号可

以对应到具体的地块上去。除了通过手机端远程展示种植规划和进展，还可以通过虚拟农田展示各个地块的分布，图 7 展示了一个对应于实际农田分区的三维地理信息。图中可以对地块做不同的标示，说明种植作物、预期采收时间等。这类信息方便消费者了解种植区，远程认领，也便于消费者整体了解种植区情况，进行直观的沟通。

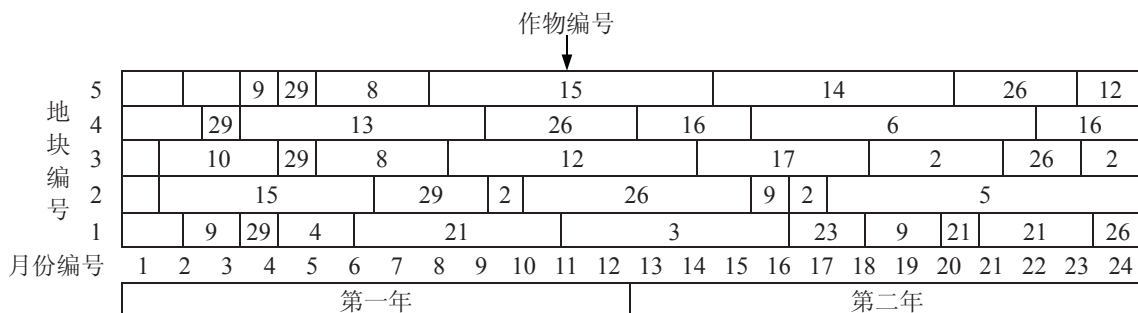


图 6 种植规划结果示例

Fig. 6 Example of planting schedule

6 讨论

6.1 虚实结合与线上线下的管理

合作社的产销对接在聚合大数据基础之上才有优势。农业大数据经过几年的发展，目前仍缺乏市场驱动力^[41]。数字合作社并不改变在国家相关合作社法规定下的实际组织管理方式，通过数字空间的信息聚集，形成虚拟合作社，与聚合起来的市场需求进行对接。因此，必须构建信息系统以汇集数据、

分析数据，并在此基础上实现智能计算，提高生产和统筹效率。由于年龄、知识水平的限制，数据搜集不再以传统的种植户上传数据为主，而是以第三方的专业化服务组织为主，辅以物联网等设备实现农业的智能化升级。

由于对健康食品的需求和对田园生活的向往，过去十几年中别具特色的社区农业如火如荼。社区农业主要以线下的地块承包和产品订购为主，一个农场往往要面对众多消费者的需求。由于消费者对



图 7 分区展示的数字农田

Fig. 7 Digital farms divided by zones

农产品种类的需求多, 单个农场的产品往往难以持续平稳供应。此外, 单个农场的经营成本相对较高。如果扩大生产经营规模, 则对经营者综合能力的要求随之增加。数字合作社则是以聚合小农户、多对多的方式进行产销对接, 可以将用户的需求分解到各个小农户中, 这样对于单个种植者, 仍可集中精力专业生产少数几种农产品, 积累和学习专业知识, 且可减少如何应对市场变化的考虑。为了实现产品线的多样化, 还可参考合作社联社的实际经验, 在虚拟空间中构建数字合作社之间的合作方式。

6.2 数字合作社与智慧农业

智慧农业的技术包括物联网和云计算等, 服务农业的智能化生产。最近几年, 智慧农业的作业主要体现于农机装备和无人机喷洒等, 主要用于节约劳动力的场景, 较多应用于规模化农业生产。而小农一般缺乏购买实力, 或不适合使用大规模作业方式。与这类以装备为主要体现的智慧农业技术应用不同, 数字合作社更多在于智能排产、种植智能推荐这类智能算法技术的应用, 用于链接不同的产业环节, 天然地引入了市场驱动技术应用的机制, 为智慧农业与现有主要经营主体的结合提供了切入点。由于产销信息透明的需求, 对生产过程的信息监管也会成为诉求, 从而有可能带动农业物联网技术的广泛应用。

过去十几年中, 通过研发项目支持, 以及各地的数字农业园区建设, 信息化技术在农业生产管理的应用已有不少示范工程, 但缺乏可持续运行机制。

技术的应用需要相关经营体制的配合。中国已经在乡村投入了大量的基础设施建设, 通信、交通和物流条件非常便捷, 为农业 4.0 的发展创造了有利的条件。2020 年农业农村部发布了《新型农业经营主体和服务主体高质量发展规划》, 助推家庭农场、农民合作社和托管服务组织的发展。数字合作社定位的主要用户是这些新型农业的经营者和服务者, 减少对个人能力的依赖, 辅助解决生产经营及服务中的问题。

6.3 未来展望

农业领域的软件系统在过去已有探索, 包括农事管理、农业 ERP 软件等, 然而为种植户提供全方位服务的软件不多。基于数字合作社理念, 可设计和开发包括种植管理、经营管理和销售管理的农场经营服务功能, 其中融入各方面的经验, 使得即使对农业不是非常熟悉的人员也可以尽快上手, 成为胸有成竹的“新农人”, 有助于吸引年轻人投身农业, 改变当前的农户普遍年龄偏大、学历偏低的状态。

对于农业专家, 基于数字合作社, 可以拓展其所提供咨询和服务的农田范围。对于小农户, 农业种植经验比较缺乏, 需要专家的技术指导。而农技专家缺少, 如果完全是线下服务, 相当有限。基于线上平台, 一方面可拓展农技专家的地域限制, 通过线下实地走访和线上咨询扩大服务的时空范围; 另一方面, 通过在数字空间保留专家提供建议的印记, 可以积累经验和传承, 训练人工专家系统。

数字合作社由于采用虚实结合的方式, 虚拟系

统中的农田与实际农田相对应, 有别于完全以游戏娱乐为主的农田游戏。消费者社员可以线下到农场进行体验和采摘。由于合作社这种组织形式, 社员之间也可不定期的聚会, 构建现实生活中相互之间的深度联系。这对于都市农业的发展尤其具有现实意义。由于种植者与消费者的共同参与, 会减少化肥农药的使用, 从而形成一种和谐的种植方式。需要说明的是, 数字合作社是对农业专业合作社的一种补充, 而不是替代, 是一种顺应当下的数字经济方式。

7 结语

本文提出了基于人工系统、计算实验和平行执行的虚实结合、产销融合的数字合作社, 并以有机水稻种植为例, 说明数字合作社规划、成本分析、种植方案推荐等过程的实现。本文侧重系统的设计, 因此未深入描述系统的具体实施, 仅提供部分功能的系统界面。对于农业这一复杂的社会物理信息经济系统, 理清各方的关系, 设计适宜的信息系统, 是非常重要的一个环节。进一步的系统功能细化, 则需要更深入地结合实践, 针对某种自然和社会经济环境下的专业合作社进行开发迭代, 提取共性特征, 才能逐渐凝练出适合不同地域、不同作物、不同情景的合作社样板库。

参考文献:

- [1] FAO. State of Food and Agriculture 2014: Innovation in Family Farming[Z]. Rome, Italy: FAO, 2014.
- [2] Herbel D. Good Practices in Building Innovative Rural Institutions to Increase Food Security[M]. Rome, Italy: FAO, 2012.
- [3] Mojo D, Fischer C, Degefa T. The determinants and economic impacts of membership in coffee farmer cooperatives: Recent evidence from rural Ethiopia[J]. Journal of Rural Studies, 2017, 50: 84-94.
- [4] Ma W, Abdulai A. The economic impacts of agricultural cooperatives on smallholder farmers in rural China[J]. Agribusiness, 2017, 33(4): 537-551.
- [5] Moustier P, Tam P T G, Anh D T, et al. The role of farmer organizations in supplying supermarkets with quality food in Vietnam[J]. Food Policy, 2010, 35(1): 69-78.
- [6] Grashuis J, Ye S U. A review of the empirical literature on farmer cooperatives: Performance, ownership and governance, finance, and member attitude[J]. Annals of Public & Cooperative Economics, 2019, 90(1): 77-102.
- [7] Iliopoulos C. Stakeholder participation in co-operative capital in western agricultural co-operatives[M]//Gijselsinckx C, Zhao L, Novkovic S. Co-operative Innovations in China and the West. London: Palgrave Macmillan, 2014: 81-97.
- [8] Iliopoulos C, Valentinov V. Cooperative longevity: Why are so many cooperatives so successful?[J]. Sustainability, 2018, 10(10): 1-8.
- [9] Zheng S, Wang Z, Song S. Farmers' behaviors and performance in cooperatives in Jilin Province of China: A case study[J]. The Social Science Journal, 2011, 48(3): 449-457.
- [10] 何慧丽, 杨光耀. 农民合作社: 一种典型的本土化社会企业[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2019, 36(3): 127-136.
He H L, Yang G Y. Farmer cooperatives: A typical localized social enterprise[J]. Journal of China Agricultural University (Social Sciences), 2019, 36(3): 127-136.
- [11] 简玮, 朱月季. 海南辣椒产销模式存在的问题与对策[J]. 中国蔬菜, 2019(9): 12-17.
Jian W, Zhu Y J. Problems and countermeasures of production-marketing model in Hainan pepper [J]. China Vegetables, 2019(9): 12-17.
- [12] Narrod C, Roy D, Okello J, et al. Public-private partnerships and collective action in high value fruit and vegetable supply chains[J]. Food Policy, 2009, 34(1): 8-15.
- [13] Laudon K C, Traver C G. E-commerce 2016: Business, Technology, Society (12th Edition)[M]. Pearson, 2016: 912.
- [14] Xiong F L. Expert system for decision-making in complex environments[C]. 1986 IEEE Conference on Decision and Control, Athens, Greece: IEEE, 1986.
- [15] Zhang J J, Wang F Y, Wang X, et al. Cyber-physical-social systems: The state of the art and perspectives[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(3): 829-840.
- [16] Wang F Y. The emergence of intelligent enterprises: From CPS to CPSS[J]. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(4): 85-88.
- [17] Klerkx L, Jakku E, Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda[J]. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2019, 90-91: 100315.
- [18] Kang M Z, Fan X R, Hua J, et al. Managing traditional solar greenhouse with CPSS: A just-for-fit philosophy[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2018, 48(12): 3371-3380.
- [19] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
Yang L Y, Chen S Y, Wang X, et al. Digital twins and parallel systems: State of the art, comparisons and prospect[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(11): 2001-2031.
- [20] 阳东升, 姜军, 王飞跃. 从平台到体系: 智慧对抗活动机理的演变及其 Prea 环对策[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(4): 263-271.
Yang D S, Jiang J, Wang F Y. From platforms to systems of systems: On mechanism evolution of command confrontation and its PREA loop[J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(4): 263-271.
- [21] 刘昕, 王晓, 张卫山, 等. 平行数据: 从大数据到数据智能[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(8): 673-681.
Liu X, Wang X, Zhang W S, et al. Parallel data: From big data to data intelligence[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2017, 30(8): 673-681.
- [22] Weng Y C, Wang X J, Hua J, et al. Forecasting horticultural products price using ARIMA model and neural network based on a large-scale data set collected by web crawler[J]. IEEE Transaction on Computational Social Systems, 2019, 6(3): 547-553.
- [23] Hua J, Wang X J, Kang M Z, et al. Prediction of crop phenology

- A component of parallel agriculture management[C]. Chinese Automation Congress & Intelligent Manufacturing International Conference (CAC2017 & CIMIC2017), Jinan, Shandong: IEEE, 2017.
- [24] Qu H B, Hu B G. Variational learning for generalized associative functional networks in modeling dynamic process of plant growth[J]. *Ecological Informatics*, 2009, 4(3): 163-176.
- [25] 安冯亮, 喻曦, 孟秋晴. 大数据中农产品质量特征分类效果评估仿真 [J]. *计算机仿真*, 2018, 35(8): 439-442.
An F J, Yu X, Meng Q Q. Simulation of the classification effect of quality characteristics of agricultural products in large data[J]. *Computer Simulation*, 2018, 35(8): 439-442.
- [26] Fan X R, Kang M Z, Heuvelink E, et al. A knowledge-and-data-driven modeling approach for simulating plant growth: A case study on tomato growth[J]. *Ecological Modelling*, 2015, 312: 363-373.
- [27] Fan X R, Wang X J, Kang M Z, et al. A knowledge-and-data-driven modeling approach for simulating plant growth and the dynamics of CO₂/O₂ concentrations in a closed system of plants and humans by integrating mechanistic and empirical models[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, 148: 280-290.
- [28] Zhang X, Meng M, Sun X, et al. FactQA: Question answering over domain knowledge graph based on two-level query expansion[J]. *Data Technologies and Applications*, 2019, 54(1): 34-63.
- [29] Moro A, Raganato A, Navigli R. Entity linking meets word sense disambiguation: A unified approach[J]. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 2014, 2: 231-244.
- [30] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估 [J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(5): 893-897.
Wang F Y. Computational experiments for behavior analysis and decision evaluation of complex systems[J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(5): 893-897.
- [31] Wang F Y. Toward a paradigm shift in social computing: The ACP approach[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2007, 22(5): 65-67.
- [32] Yalçın H. Phenology monitoring of agricultural plants using texture analysis[C]. 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, Turkey: IEEE, 2016.
- [33] Mccown R L, Hammer G L, Hargreaves J N G, et al. APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research[J]. *Agricultural Systems*, 1996, 50(3): 255-271.
- [34] Ritchie J T, Singh U, Godwin D C, et al. Cereal Growth, Development and Yield[M]. Springer Netherlands, 1998: 79-98.
- [35] Yan H P, Kang M Z, de Reffye P, et al. A dynamic, architectural plant model simulating resource-dependent growth[J]. *Annals of Botany*, 2004, 93(5): 591-602.
- [36] 王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到默顿的平行升华 [J]. *自动化学报*, 2015, 41(1): 1-8.
Wang F Y. Software-defined systems and knowledge automation: A parallel paradigm shift from newton to merton[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(1): 1-8.
- [37] 康孟珍, 王秀娟, 华净, 等. 平行农业: 迈向智慧农业的智能技术 [J]. *智能科学与技术学报*, 2019, 1(2): 107-117.
Kang M Z, Wang X J, Hua J, et al. Parallel agriculture: Intelligent technology toward smart agriculture[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2019, 1(2): 107-117.
- [38] 王秀娟, 华净, 康孟珍, 等. 基于区块链技术的透明农场 [J]. *智能科学与技术学报*, 2019, 1(4): 400-408.
Wang X J, Hua J, Kang M Z, et al. Transparent farm based on block chain technology[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technologies*, 2019, 1(4): 400-408.
- [39] Kang M Z, Hua J, Hu B G, et al. QingYuan-A GreenLab based plant simulator and solver[C]. 6th International Workshop on Functional-Structural Plant Models (FSPM 10), University of California, Davis, USA, 2010.
- [40] Rutzinger M, Pratihast A K, Elberink S J O, et al. Tree modelling from mobile laser scanning data-sets[J]. *Photogrammetric Record*, 2011, 26(135): 361-372.
- [41] Kamilaris A, Kartakoullis A, Prenafeta-Boldú F X. A review on the practice of big data analysis in agriculture[J]. *Computers & Electronics in Agriculture*, 2017, 143: 23-37.

(责任编辑: 童成立)

RESEARCH OF AGRICULTURAL MODERNIZATION (Bimonthly)

Vol. 41, No. 4 (Sum. No. 239)

July, 2020

CONTENTS

- Realizing the organic connection between stable poverty alleviation and rural revitalization ZHUANG Jin-cai, HUANG Man (549)
- A comprehensive literature review: Food security issues during the process of urbanization XU Li-lu-yi (557)
- The path of cultivating new-type professional farmers from the perspective of the integration of agricultural modernization and farmer's professionalization: A case study of Heilongjiang LIU Chang, WANG Si-yi, MA Guo-wei, WU Li-quan (568)
- Transportation infrastructure, agricultural mechanization, and rice production in China LIU Fang, LIU Ying, GAO Qi-zheng, SONG Bao-hui (578)
- The spatial correlation network structure and the driving forces of China's agricultural total factor productivity ZHANG Fan, WU Ling, WANG Fu-lin (587)
- Risk evaluation of agricultural investment along "The Belt and Road" route and its implications for China's agricultural "Going Out" ZHAO Jie, JIANG Xiao-yu, CHEN Yang-fen (599)
- Comparison and implications of crop revenue insurance products between China and the United States WEI Jia-wei, YANG Rui-hua (608)
- The demand willingness and the influences of the socialized senior care services in China's rural areas TANG Juan-li, NI Yong-liang (618)
- Analysis of the reform path and practice of rural collective property right system: Based on the survey of 21 villages in Xi'an GAO Jia-qi, XUE Cai-xia (628)
- Farmers' choice of gratuitous subcontracts of farmland transfer under the risk of property right: From the perspectives of formal and informal institutions WAN Jing-jing, WANG Bo, ZHONG Zhang-bao (637)
- Green cognition, reality, and farmers' biological pesticide application behaviors: Explaining the deviation between farmers' willingness and their behaviors LUO Lan, LI Hua, XU Bei-bei (649)
- The influences of land right confirmation on farmers' perception of land tenure stability: An analysis from the perspective of land inequality in villages ZHANG Lian-hua, HUO Xue-xi (659)
- The influences of incentive mechanism of village committee head on the income growth of rural residents: Based on the mediating effects of public investment DUOJI Ban-dan, BAI Yun-li, ZHANG Lin-xiu (669)
- The dynamic relationship of price fluctuation of livestock and poultry products with the influence of African swine fever in China: From the perspective of public opinion management DUAN Cong-cong, LIU Ling-zhi (678)
- Digital cooperatives: Agricultural intelligent system integrating production and market KANG Meng-zhen, WANG Xiu-juan, WANG Hao-yu, HUA Jing, DONG Yong-liang, XU Zhen-qiang, LI Dong, WANG Fei-yue (687)
- The performance evaluation of farmland quality management and the diagnosis of obstacles: A case study of Yimen Town, Binzhou City, Shaanxi Province YANG Fan-yu, QIU Meng-long, LIU Li-ming (699)
- Variation of asymbiotic nitrogen fixation with post-agricultural succession in a karst region of Northwest Guangxi SUN Xi-bin, ZHANG Qing-shan, XIAO Kong-cai, LI De-jun (709)
- Nitrogen nutrition index estimation in winter wheat by UAV spectral information and texture feature fusion YANG Fu-qin, FENG Hai-kuan, XIAO Tian-hao, LI Tian-chi, GUO Xiang-qian (718)

Editors in duty TONG Cheng-li, WANG Yu-hua

欢迎订阅 2020 年《农业现代化研究》

欢迎订阅 欢迎投稿

《农业现代化研究》是由中国科学院主管、中国科学院亚热带农业生态研究所主办的农业综合性学术刊物，科学出版社出版。其办刊宗旨是探索和研究具有中国特色的农业现代化理论、战略、方针、道路及我国农业现代化进程中的有关科学技术、经济、生态、社会各方面协调发展问题，促进国内外学术交流与合作，为我国农业可持续发展和农业现代化建设服务。它是以为农业现代化为主题内容，以自然科学为主，兼融人文社会科学为特色的学术性、综合性农业学术期刊。注重以宏观和综合为主，宏观战略与微观技术相结合，综合性与专业性相结合，自然科学与社会科学相结合，理论与实际相结合的原则。主要刊登农业发展战略和农业基础科学及其交叉学科的基础理论研究和应用研究方面的学术论文、科研报告、研究简报等。内容包括农业发展战略、农业可持续发展、区域农业、生态农业、农业生物工程、信息农业、农村生态环境、农业经济、农业产业化、农业系统工程、农业机械化、高新技术应用、资源利用与保护、国外农业等。

《农业现代化研究》从 1992 年起一直被列入全国中文核心期刊，并编入《中国学术期刊（光盘版）》、中国期刊网、万方数据库、中国科学引文数据库、中国科技期刊数据库和 CABI 文摘库、Agrindex 等国际权威检索系统。曾先后被评为中国科学院优秀期刊、湖南省一级期刊和优秀期刊。

《农业现代化研究》为双月刊，逢单月出版。大 16 开国际版本，每册定价 15.00 元。向国内外公开发行人，国内邮发代号 42—46，全国各地报刊发行局（所）均可订阅；国外由中国国际图书贸易总公司负责发行，代号：BM6665。主要读者对象：农业院校师生，广大农业科技工作者，各级领导干部和管理人员。

编辑部地址：湖南长沙市芙蓉区远大二路 644 号 中国科学院亚热带农业生态研究所，邮编：410125

联系电话：0731-84615231；E-mail: nyxdhyj@isa.ac.cn

网址：<http://nyxdhyj.isa.ac.cn/ch/index.aspx>；微信公众号：nyxdhyj

农业现代化研究
NONGYE XIANDAIHUA YANJIU

（双月刊，1980 年创刊）

第 41 卷第 4 期（总第 239 期）2020 年 07 月

RESEARCH OF AGRICULTURAL
MODERNIZATION

(Bimonthly, started in 1980)

Vol. 41, No. 4 (Sum. No. 239) July, 2020

主 管	中国科学院	Administrated by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院亚热带农业生态研究所	Sponsored by	Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences
出 版	科学出版社 (北京东黄城根北街 16 号, 邮编: 100717)	Published by	Science Press (16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China)
主 编	王克林	Chief Editor	WANG Ke-lin
编 辑	《农业现代化研究》编辑部 地址: 湖南长沙市芙蓉区远大二路 644 号 邮编: 410125 电话: 0731-84615231 E-mail: nyxdhyj@isa.ac.cn	Edited by	Editorial Department of Research of Agricultural Modernization
印刷装订	湖南省农业科学院印刷厂	Address	No. 644, Yuanda 2nd Road, Furong District, Changsha City, Hunan, China
国内总发行	中国邮政集团公司湖南省报刊发行局	Postal Code:	410125 Telephone: 0731-84615231
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮编: 100044	Distributed	China International Book Trading Corporation
订 购 处	全国各地邮政局(所)	Abroad by	(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

ISSN 1000-0275
CN 43-1132/S

国内邮发代号 42—46
国外发行代号 BM6665

国内外公开发行人
定价: 15.00 元