

“互联网+”现代种业发展战略研究

马晨^{1,2}, 李瑾^{1,2*}, 赵春江^{1,2}, 冯献^{1,2}, 范贝贝^{1,2}, 郭美荣^{1,2}, 曹冰雪^{1,2}

(1. 北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 种业是农业的“芯片”, 种业现代化是农业现代化的重要标志, “互联网+”现代种业不仅是现代农业的重要应用场景, 也是种业科技创新的集中体现。本文基于对“互联网+”现代种业的界定与主要特点的阐述, 结合实地考察与专家咨询, 具体分析了面向政府部门、科研单位、繁种基地等不同主体的应用场景的特点、支撑技术、典型应用, 深度分析了当前我国“互联网+”现代种业在基础设施、数据共享、关键技术、商业化体系等方面的瓶颈与需求, 并据此提出了我国“互联网+”现代种业的发展战略、技术路线图和重大示范工程建议, 为现代种业发展提供科学参考。研究认为, 现阶段迫切需要加快种质资源大数据平台建设工程、“互联网+”现代种业基地新基建示范工程、“互联网+”现代种业数据共享平台建设工程和种业大数据智能服务工程等重大应用示范工程, 推动种业智能装备研发制造产业、商业化育种软件产业的发展, 全面推进现代种业的智能化发展。

关键词: 互联网+; 现代种业; 应用场景; 商业化育种; 重大示范工程

中图分类号: S-1 **文献标识码:** A

Development Strategy of Internet Plus Modern Seed Industry

Ma Chen^{1,2}, Li Jin^{1,2*}, Zhao Chunjiang^{1,2}, Feng Xian^{1,2}, Fan Beibei^{1,2},
Guo Meirong^{1,2}, Cao Bingxue^{1,2}

(1. Research Center of Information Technology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: The seed industry is the chip of agriculture and seed industry modernization is a significant symbol for agricultural modernization. Internet Plus Modern Seed Industry is an important application scenario of modern agriculture and a concentrated embodiment of scientific and technological innovation in the seed industry. Based on the concept definition and main characteristics of Internet Plus Modern Seed Industry and using field investigation and expert consultation, this study analyzes the characteristics, supporting technologies, and typical applications of application scenarios for different subjects such as government departments, scientific research institutions, and breeding bases. The challenges and demand for the infrastructure, data sharing, key technologies, and commercialization system of the Internet Plus Modern Seed Industry in China are analyzed. Additionally, we propose the development strategy, technical roadmap, and major demonstration projects, to provide a scientific reference for the development of modern seed industry. Specifically, major demonstration projects are urgently required for big data platforms for germplasm resources, new infrastructure for Internet Plus Modern Seed Industry bases, Internet Plus Modern Seed Industry data sharing platforms, and big data intelligent services for the seed industry. Moreover, the intelligent equipment research, development, and manufacturing industry

收稿日期: 2022-04-03; 修回日期: 2022-06-29

通讯作者: *李瑾, 北京农业信息技术研究中心研究员, 主要研究方向为农业农村信息化; E-mail: lij@nrcita.org.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新时代、新业态下‘互联网+’行动计划发展战略研究”(2021-XZ-24)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

as well as the commercialized breeding software industry should be encouraged to comprehensively promote the intelligent development of modern seed industry.

Keywords: Internet plus; modern seed industry; application scenarios; commercialized breeding; major demonstration project

一、前言

种业是农业的“芯片”，在农业发展中的基础性、战略性、先导性、核心性和引领性地位日益突出，引领农业高质量发展、培育农业发展新动能、赢得农业竞争优势迫切需要种业优先发展、率先突破。美国、以色列、欧盟等在21世纪初已初步实现了大数据、人工智能、云计算、物联网等新一代信息技术与种业发展的融合，在育种技术研发、繁种制种、商业化育种以及种业产业链拓展等方面实现了较大的技术创新和突破，积极抢占种业发展制高点。对比发达国家，当前我国仍处于以杂交选育和分子技术辅助选育为主的种业发展初级阶段，虽然移动互联网、人工智能、区块链、大数据等技术也在育种研发、繁种制种和市场化等种业关键环节开展了应用，并取得了系列技术成果，但是整体来看，我国“互联网+”种业技术研发起步较晚，发展也相对不足，尚未建立起适用于我国的作物智能设计育种技术体系，制约了我国种业向智能育种4.0时代迈进。

科技创新是种业竞争的实质，决定了种业的自主创新发展 [1]。国内外学者关于种业科技创新的研究主要集中于育种关键技术、新品种创制、商业育种平台创新等方面开展。一是关于育种发展阶段的研究。育种技术在经历了驯化育种、遗传育种、分子育种三个标志性阶段后，正逐步向智能设计育种阶段发展，推动了现代种业的转型升级 [2,3]。二是关于育种技术创新的研究。伴随着大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术、智能装备技术与生物技术的深度融合，育种技术也逐步向精准化、智能化、工程化的智能设计育种方向发展，高通量获取设施装备技术 [4,5]、传感器技术 [6,7]、表型智能解析 [8,9]、多组学大数据分析技术 [10,11] 等被广泛应用于育种环节，能够获取育种目标的最佳基因型，进而高效、精准地培育出目标新品种，大大缩短了育种周期，提高了育种效率，有效推动了种业的转型升级 [12]。三是关于品种创新的研究。总体来说，自1999年4月23日农业部受理第一

个农业植物新品种申请以来我国种业新品种申请与授权量稳步上升，育种创新能力逐步增强 [13]，育成了“京科968” [14]、京花12号 [15] 等优良品种，在全国适应性试验与示范推广成效显著。四是关于商业育种平台创新方面，先正达集团、拜耳公司、巴斯夫股份公司等国际种业公司先后构建了 AgriEdge Excelsior 平台、FieldView 平台、xarvioTM 平台，实现海量育种数据的超大存储、复杂数据的高效分析、庞大系统的科学管理，并提供从播种建议、病害预警、农艺分析、科学决策等简捷、高效、精准的服务，我国也早在2005年就开始筹建国家农业科学数据共享中心，旨在有效盘活、挖掘、抢救和保存我国农业科学技术资源、实现数据共享与集成应用 [16,17]。

但是，现有关于我国现代种业的文献中，以现代生物技术在育种领域的渗透为主，关注的是不同品种的育种现代化，对互联网、大数据、人工智能等在现代种业的渗透研究较少、应用场景探索不明；对于物联网技术、表型组大数据分析技术、作物表型-环境大数据技术、育种大数据存储管理与应用技术等“互联网+”现代育种技术关注较少，对“互联网+”现代种业应用技术体系与技术路径尚不清晰，因此，迫切需要基于我国“互联网+”现代种业现状与需求进行研究，提出其应用技术体系与技术路线图，研判其未来发展路径。

二、“互联网+”现代种业的主要应用场景

伴随着大数据、云计算、区块链、物联网、5G 等技术为核心的新一代信息技术正在加速向各领域渗透发展，我国种业正在通过将移动互联网、人工智能、区块链、大数据、边缘计算等新一代信息技术，与分子标记、转基因、基因编辑、分子设计育种等现代生物技术融合，培育了面向政府管理部门、科研单位、育种机构、繁育基地、种业市场等不同主体的应用场景，全面提升育种、繁种、推广、监管、服务等全产业链不同环节的数字化和智能化水平，推动育种专业化、生产标准化、服务综

合化、管理信息化、技术装备精准化发展，为加快推进种业振兴，实现种业科技自立自强、种源自主可控提供了有效支撑。

（一）“互联网+”现代种业的概念与特征

根据我国对于“打赢种业翻身仗”的战略导向，结合《“十四五”现代种业提升工程建设规划》和《种业振兴行动方案》等具体行动方案的部署，以及作者团队近年来在商业化育种体系、植物表型组学大数据和智能设计育种等方面的研究探索，本文研究的“互联网+”现代种业是以育种人员、种业企业、政府机构、生产主体等产业链相关主体需求为中心，结合生命科学、信息科学等最新理论创新，依托生命技术（分子标记、全基因组测序、基因编辑、生物合成等）与信息技术（大数据技术、人工智能技术、区块链技术、传感器技术等）的交叉融合与协同创新，探索种业全产业链数字化、网络化、云端化、智能化转型升级，实现现代种业品种创新数字化、生产经营智能化、产业体系生态化、用户服务敏捷化的种业4.0产业新形态。“互联网+”现代种业具有促进育种技术精准化、重构生态化育种体系、推动经营管理数字化和实现用户服务智能化等特点，在推动种业“育、繁、推、管、服”全产业链一体化高质量发展，打好种业翻身仗，推动我国由种业大国向种业强国迈进发挥着重要作用。

（二）“互联网+”现代种业的发展现状与应用场景

1. 我国“互联网+”现代种业的主要研发现状

近年来，我国政府、研究机构和种业企业也正在逐渐加大新一代信息技术与育种、繁种制种、产业化等多方面的融合，取得了一系列的技术创新与突破。

生物技术与信息技术逐步融合。在育种技术研发方面，基于大数据技术开展将基因组数据与表型组、转录组、代谢组数据相结合的多组学研究，大量未知基因的功能被迅速解码，为智能设计育种提供了重要技术与理论基础，如华中农业大学于2020年整合来自同一玉米群体的基因组、转录组、表型组、代谢组、表观基因组、遗传变异以及遗传定位结果等多组学数据，构建了玉米属综合数据库ZEAMAP，内嵌了基因组“浏览器”和“搜索引

擎”，实现了对相关组学数据的高度集成、快速检索和智能分析 [18]；2016年，中国科学院植物研究所研发了国内首套基于激光雷达技术的作物高通量三维表型监测平台Crop 3D，集成了激光雷达、高分辨率相机、多光谱和热成像仪4种传感器，不仅可进行常规参数（覆盖度、植被指数、叶片温度等）的提取，而且通量化的测量效率可实现作物全生育期监测，辅助室内育种筛选、作物建模和胁迫响应分析等研究 [19]。

信息技术装备被逐步应用于制种领域。在繁殖种技术研发方面，研发了应用于田间试验、制种生产和种子加工等方面的信息化、自动化的系统及装备，很大程度上提升了育种试验和制种效率。如农业部自2017年起，就在全中国117个国家区域性良种繁育基地推广信息技术装备，将虫情监测预警与绿色防控、墒情监测预警与灌溉、农机与无人机设备和新型的物联网、无人机遥感、无人机驾驶等技术结合，再配合考种、测产、植物性状等自动化和智能化检测仪器及装备，帮助黑龙江省桦川县常规稻繁育基地、河南省滑县小麦繁育基地等实现了良种繁供能力获得质的飞跃；国家农业智能装备工程技术研究中心研发的基于北斗的农机自动驾驶与作业精准测控关键技术，突破了农机作业复杂工况自适应的自动驾驶技术瓶颈，建立了全程机械化作业智能监测技术体系。

支撑育种全程信息化管理与追溯。在商业化育种技术研发方面，2016年，国家农业信息化工程技术研究中心将物联网等信息技术与商业化育种技术紧密结合，集成应用计算机、地理信息系统（GIS）、人工智能等技术，研发了全国首个具有完全自主知识产权的“互联网+”商业化育种大数据平台——“金种子育种云平台”，面向全国育种企业和科研院所提供种质资源管理、试验规划、性状采集APP、品种选育、品种区试、系谱管理、数据分析、基于电子标签（RFID）的育种全程可追溯等服务 [20]。华智水稻生物技术有限公司研发了现代化育种软件平台“华智育种管家”，平台涵盖种质库存、繁育活动、品种测试、分子育种、移动应用、系统管理等8大核心模块，能够提供育种材料、杂交配组、田间测试等管理，以及开展育种数据分析与品种综合评价，目前已在袁隆平农业高科技股份有限公司、四川农大高科农业有限责任公司、中国农业大

学等 37 家育种单位开展合作与应用推广。

2. 我国“互联网+”现代种业主要应用场景

目前,“互联网+”现代种业主要聚焦政府管理部门、育种科研机构、育繁种基地、种业市场等不同主体需求,搭建了包括中国种业大数据平台、国家农作物种质资源共享服务平台等“互联网+”平台,衍生出了四大应用场景(见表1)。

面向政府管理部门:种业监管大数据平台,以种业大数据分析、挖掘和可视化为支撑,以提供精准的数据信息服务为内容,覆盖品种审定、品种登记、品种保护、品种推广等各项种业行业数据,可实现品种可追溯、种子质量可追溯、市场主体可追溯和一站式信息查询和业务办理。种业监管大数据平台以种业数据的采集、处理分析和利用为核心,具有数据量大,决策支撑能力强,服务便捷和公益性特征。从实践应用来看,我国以中国种业信息中国种业大数据平台利用互联网、大数据等信息技术,以信息公开、强化监管、优化服务为宗旨,按照统一数据格式、统一数据接口、统一数据应用的原则,对国家、省、地市、县四级的种业管理数据信息进行整合,打通品种审定、登记、保护以及种子生产经营许可、种子市场监管等种业管理相关信

息,通过种业信息互联互通、数据共享公开,实现品种可追溯、种子质量可追溯、市场主体可追溯,有效解决了我国种业存在的信息孤岛现象,为全面提升种业管理水平提供技术支撑。

面向育种科研机构:种质资源管理平台,用于粮、棉、油、菜等作物种质资源和遗传材料的数字化管理和利用,种质资源管理平台的数据包括种质考察、引种、保存、监测、鉴定、评价和利用数据,作物品种系谱、区试、示范和审定数据,以及作物指纹图谱和DNA序列数据等,通过条形码或电子标签技术等为每一份种子建立唯一标识,以促进育种资源的妥善保管和优良品种的选育。从实践应用来看,我国建立了国家农作物种质资源共享服务平台,开发了中国作物种质资源信息系统,其主要用户包括决策部门、新品种保护和品种审定机构、种质资源和生物技术研究人员、育种家、种质库管理、引种和考察人员、农民及种子、饲料、酿酒、制药、食品、饮料、烟草、轻纺和环保等企业。国家农作物种质资源数据库系统,除具有数据生成、维护、查询、报表打印、数据连接变换等功能外,还实现了大样本数理统计分析、作物系谱分析、图形分析、多字段分类统计等,可为全国农业

表1 “互联网+”现代种业主要应用场景

应用模式	“互联网+”支撑技术	服务主体	主要特点	典型应用
种业监管大数据平台	数据采集、数据清洗、数据存储、数据分析、数据挖掘、精准检索和可视化等大数据技术	政府管理部门、相关部门	实现种业多源异构海量大数据的实时采集与获取;实现对海量数据的处理与决策支持;实现种业大数据的便捷可视化;共享共建	中国种业大数据平台
种质资源管理平台	数据库技术、RFID技术等	育种科研机构、育种公司、政府管理部门	实现种质资源的数字化、信息化管理;实现种质资源的信息共享;便于种质资源的挖掘与利用	国家农作物种质资源共享服务平台
种业物联网	二维码、传感器网络、视频监控、移动通信、RFID等技术	育种机构、繁种基地	实现育种/繁种环境的信息感知;实现种苗生长信息的智能分析;实现种苗生长的全程自动化管理	托普云
种业社会化服务平台	大数据技术、云计算、人工智能	种业企业、育种机构、种植大户等种子需求主体	提供基于电子交易信息系统的融资和交易服务;满足种业市场各主体的个性化需求;实现种业咨询、政策咨询、种业产品交易等精准化服务	中国种子交易网、中国农技推广信息平台

生产和科研单位提供种质信息。

面向育种繁种基地：种业物联网，基于二维码、传感器网络、视频监控、移动通信、RFID等信息技术，运用温湿度传感器、光传感器、CO₂传感器，以及作物表型观测技术与设备、考种系统、智能催芽装备、自动移栽机械装备等，建立起涵盖感知层、传输层、应用层3个层次的物联网体系，实时显示育种繁种环境参数，自动控制育种繁种过程，实现育种繁种全程自动化、数字化、智能化，从而保证种苗拥有良好、适宜的生长环境，显著降低育种繁种人工成本，促进育种繁种提质增效。现阶段，面向育种繁种基地的种业物联网典型场景已开展较多实践。例如，托普云农开发的考种系统、叶片形态测量仪、作物冠层分析仪、智能光照培养箱等，能够从种子的根、茎、叶到果实进行全方位检测，为种苗生产提供最适宜环境。同时搭配智能农机装备和APP使用，实现作物品种繁育的网络化、智能化，四川邛崃市已成功推广了考种、测产、植物性状监测仪器等，助力其打造中国“种业硅谷”。

面向种业市场：种业社会化服务平台，服务种业全产业链的智能服务平台，覆盖产前、产中、产后，以及包装、销售等内容，以服务产品形式汇聚在平台上，下游企业通过平台与服务组织进行对接和交流，促进种业服务资源合理流动。平台应用先进的大数据、云计算、人工智能等信息技术，对大数据进行挖掘，实现个性化信息推送，为种业交易当事人、服务商和社会公众等提供个性化的全方位信息服务。种业服务平台可将收集到的种子、种苗供需信息进行汇总整理，并定期更新公示，及时为产区农户、合作社、种植公司等提供一手信息，且对有需求的客户提供相关质量、技术、溯源等服务。随着信息技术的不断更新和发展，还需要加大网络种子渠道的建设，通过技术平台建设，借助现在完善的网络支付系统、物流系统、溯源保真系统，助推种子销售渠道的扁平化和去中间化。

三、我国“互联网+”现代种业发展需求分析

尽管我国已经开始了“互联网+”信息技术与智能装备在现代种业中的应用，但是总体而言仍处于初期探索阶段，部分技术装备仍依赖国外，部分

场景仅用于示范展示，尚没有在我国大范围推广应用，仍存在进一步加强我国种业基础设施数字化提升、种质资源信息共建共享等现实需求。

（一）种质资源与信息采集设备缺失，种业信息化、数字化基础设施有待进一步加强

与美国、德国等种业发展先进国家相比，我国的种业信息化程度不高，发展种业信息化所需的设施与装备有待进一步完善。以育种、繁种过程中所需的遥感技术为例，无人机低空遥感技术具有高通量、高定位精度、高效率、机动灵活等优势，基于无人机低空遥感的育种信息采集能够更加深度的剖析农作物的遗传性状，挖掘作物生长的潜在特征，有效提高育种效率 [21]。但目前我国的农业遥感普及率依然较低，现有采集设备大都布局在现代农业示范区、农业信息化示范基地等，或是在有条件的科研机构用于实验室育种，尚未在育种、繁种基地普及。因此，迫切需要在现有农业信息化、数字化的基础上加强现代种业基础设施的信息化改造，打造互联互通、共建共享、省市县三位一体的“互联网+”种业基础设施布局，推动无人机、智能传感器等表型信息获取技术装备在种业领域的应用，创建标准化、网络化的种业信息监测基础设施，为现代化育种、繁种的发展提供数据和算力支撑。

（二）种业数据共享存在障碍，迫切需要进一步加强种质资源信息共享机制

目前，我国农作物种质资源共享利用不足，一方面是农作物种质资源信息共享机制不健全，导致优异种质资源难以有效利用。当前，科研人员均主要通过查找文献资料了解并获知相关农作物种质信息，并主要通过单位间种质交换和自行收集种质居多，农作物种质资源信息共享服务不能完全满足从事科研与农业推广生产的需求 [22]。受限于国内育种领域体制机制存在局限障碍、共享服务支撑不足、政策法规建设滞后、共享标准规则缺乏等因素，使得育种过程面临数据资源无法互联互通、数据孤岛现象频现等制约，对整个育种工作中的数据分析工作形成一定的阻碍，导致较难实现育种决策过程的数据信息交流。另一方面，农作物种质资源共享平台建设滞后，种质研究信息不畅、互相割据、重复研究现象普遍存在，亟待制定科学合理的

种质资源利益分享机制，整合、集成全国性农作物种质资源数据共享平台，优化种质资源信息共享服务水平，提高种质资源的共享效率，提高作物种质资源利用效率，更好地保护和利用我国丰富的作物种质资源，提升国家农业创新体系的整体实力和水平。因此，迫切需要在顶层设计框架下，整合现有种质资源的基础上建立种业大数据库，并以农业大数据共享平台为基础，建立健全农业数据资源共享机制，重点完善政府相关部门及有关单位农业数据共享考评激励机制，以制度督促各相关部门积极主动参与农业大数据共建共享。

（三）“互联网+”现代种业关键技术尚存瓶颈，迫切需要进一步突破育种繁种关键技术装备

我国农业传感器整体在基本原理研究、新材料应用、核心制造工艺创新等领域都存在明显不足，传感器精度难以符合实际应用需求。就种业物联网体系中的传感器应用而言，目前除了空气温湿度、光照、二氧化碳传感器等比较成熟外，种苗营养元素（氮素）传感器、激素传感器、氨基酸传感器、生长物候传感器等种苗生命信息感知传感器的研发水平相对较低，难以对育种繁种工作提供有价值的支撑。此外，我国作物表型观测、智能催芽、自动移栽机械装备等育种繁种智能化装备研发起步较晚，目前虽然具备了一定基础，但在表型高通量获取、机械臂研制等方面与发达国家相比差距较大，存在关键技术“黑盒子”、设备不稳定等问题。同时，农业生物技术、大数据技术与智能装备的融合程度也不够，使得育种繁种智能化装备在日常工作中实际应用效果一般，在育种繁种效率提升方面没有显出明显优势。因此，迫切需要重点突破种业信息获取专用传感技术等核心关键技术，搭建作物表型信息与生长需求的关系模型，制备并提升“互联网+”现代种业智能装备的可靠性，形成一整套共性关键技术的行业标准，提升我国现代种业的国际竞争力。

（四）商业化育种的接受程度受限，迫切需要进一步加大商业化育种体系的推广与普及

商业化育种的接受程度受限，一是因为商业化育种软件尚不成熟，作为育种工作的核心工具，目前国内商业化育种软件仍难以满足日益变化的育种

工作需要，技术产品适用性有待提高。例如，市场上主要的育种软件大多安装在电脑上使用，没有适配移动端，使得育种数据采集、核对工作效率和准确度较低。受到遗传评估程序计算效率限制，很多商业化育种软件测定无法在当天完成选留工作，影响了育种效率。同时，育种决策的数学运算模型还不够成熟，使软件的定量化和智能化决策效果不明显。二是因为育种人员的接受程度有限、数字素养有待提升，商业化育种软件的应用能够削弱育种人员的经验依赖，增强育种的准确性。但目前有相当一部分育种人员依然主观上偏好于传统的育种方法，通过简单的数据记录进行选育，同时大多育种人员很难主动地了解学习和应用商业化育种软件，难以跨越育种软件应用的门槛，使育种软件仍难以实现大范围推广应用。因此，迫切需要以现有商业化育种技术平台为依托，集成分子标记、基因编辑、生物合成、表型信息获取、多组学大数据等生物与信息化技术，推动智能化育种与分析模型的研发与应用，加快种业智能装备的研发与制造，加强对科研院所、大型育种企业等育种主体的培育，建立健全商业化育种体系。

四、我国“互联网+”现代种业发展战略与技术路线

（一）发展战略

“十四五”时期到2035年以前，是我国由全面小康迈入基本现代化的关键时期，也是我国实现科技自立自强的攻关期。种子是农业的“芯片”，要把种业作为农业科技攻关及农业农村现代化的重点任务，以推进农业高质量发展为主题，深入贯彻落实国家大数据战略，加快建设数字中国，要下决心把民族种业搞上去，抓紧培育具有自主知识产权的优良品种，从源头上保障国家粮食安全，以改革创新为动力，以“互联网+”现代种业有力支撑粮食安全和乡村振兴为发展主线，围绕提升种业数字化监管能力和推动现代种业智能化转型布局的工作重点，强化核心技术联合攻关与自主创新，大力推进“互联网+”现代种业应用示范基地建设，积极培育“互联网+”现代种业新型业态和新型主体，加快构建中国特色“互联网+”现代种业体系，全面推进种业管理信息化、决策精准化、服务智能化，推动

实现种业治理体系和治理能力的现代化，筑牢我国农业农村现代化种业根基。

（二）技术路线

至2025年，以加强科技创新，实现数字种业引领龙头企业育繁推数字化转型为主要阶段目标，重点培育可持续运营的数字种业产业链、价值链和生态系统，建立健全覆盖农作物种业全业务链条的大数据平台与工作机制，重点加强农业生物技术与人工智能、大数据、智能装备等数字技术的深度融合，研究与推广种业企业商业化育种信息系统与设备的技术升级解决方案，创建基因型-表型-环境多维大数据驱动精准育种方案，攻克种质资源保护与利用、种质资源精准鉴定和基于人工智能的基因挖掘等关键技术，研究区块链的开放环境下节点安全校验、非对称加密、数据新增共识模型等方法，研发涵盖种质资源考察收集、资源登记、引种交换、整理编目、库存管理、圃存管理、监测预警、繁殖更新、评价鉴定、分发共享、监控和指挥调度平台，探索种子交易市场监管执法系统与种业电子商务平台在种质资源打假、风险预警等方面的数据共享方式与合作机制。

至2035年，以加速“互联网+”育种技术的规模化应用，建立健全“互联网+”现代种业产业生态体系，实现精准化、智能化育种为主要阶段目标，以完成种业大数据的有序共享与全社会开放，实现种质资源精准鉴定与共享利用，全基因组选择育种、精准育种和大规模基因组编辑，农作物品种全息查询与验证等重点领域典型应用取得突破为重点任务，重点攻克全基因组关联分析与分子设计育种模型、作物分子生理生态感知机理、植物表型信息高通量获取技术、多源异构表型信息解析技术、种业智能化装备、商业化育种软件产业核心技术等关键技术，探索基于大数据、人工智能技术的品种评价、生态区划分、试验点优化布局等智能模型与推广种业企业商业化育种信息系统与设备的技术升级解决方案，重点建设国家“互联网+”现代种业数据共享平台和基于育种大数据的工程化育种软件服务云平台和商业化运营平台，推进商业化育种软件与种业全产业链相融合，推进新型农业传感器研发制造、田间作物高通量表型检测设备制造、智能农机作业装备制造等产业的发展，引导种业龙头企

业或产业联盟构建育繁推全产业链大数据平台，夯实种业企业育种技术数字化升级成效，实现种业安全审查、预警、应急应对的数据决策支撑。

五、我国“互联网+”现代种业应用示范工程建议

（一）“互联网+”现代种业重大工程建议

1. 国家种质资源大数据平台建设工程

建设农作物种质资源数据库，管理粮、棉、油、菜、果、糖、烟、茶、桑、牧草、绿肥等作物的野生、选育、引进种质资源和遗传材料信息。加快推进国家种质资源大数据平台建设，并与国家种业大数据平台相衔接，为管理部门提供作物资源保护和持续利用的决策信息，为作物育种和农业生产提供优良品种资源信息，为社会公众提供作物品种及生物多样性方面的科普信息。

2. 国家“互联网+”现代种业基地新基建示范工程

以全面提升种质资源保护、育种、制种、品种测试、种子质量监督检验测试中心等基地的信息化基础设施建设和服务能力为目标，以海南、甘肃、四川三大国家级基地为核心，以现代种业产业园与南繁硅谷为重点，升级种业基地网络接入、安防监控、田间自动化试验机械与室内表型高通量观测设备、数据中心等基础设施智能化建设，建设融合表型、基因型与环境数据的育种大数据平台，辅助田间育种筛分决选，提升育种工作的信息化与智能化水平。针对主要农作物制繁种关键环节的管控需求，建立基于高分卫星遥感、敏捷微型无人机遥感及地面巡检监测三位一体的综合监测技术，高标准建设一批农作物数字制繁种基地，实现制繁种的精准高效管理与智能决策。

3. 国家“互联网+”现代种业数据共享平台建设工程

制定数字种业元数据与数据字典、数据质量控制和信息安全等基础共性标准，为跨部门、跨地区种业信息资源共享提供数据交换接口。针对种业数据开放共享程度不够、种业信息资源数据整合平台与数据库管理系统缺失等问题，建立种业政务“一网通办”平台，健全种业科研、生产、经营基础数据库，深化以品种保护、品种审定、品种登记、生

产经营许可、市场执法检查、种子（苗）进出口、种子储备等业务为基础的情报、指挥、行动联动平台，实现种业行业数据一体化，与品种审定监测数据的互联互通，逐步实现种业数据有效共享开放，支撑种业“放管服”改革向纵深发展。

4. 种业大数据智能服务工程

以全国种业大数据平台为依托，综合物联网、大数据、人工智能、云计算等现代信息技术，研发种业大数据智能服务平台，面向各级政府、农业企业、科研单位、农业社会化服务组织等各种类型用户提供“按图索种、依种选区、种法择优”的地方适宜性“良种、良法”配套精准服务、种情快报服务、种业健康发展大数据服务、种子检验员服务轨迹星云图服务、种业专家社区服务和种业技术推广信息服务等种业大数据智能服务，拓展农作物优良品种与技术推广渠道，提高种业服务效率。

（二）“互联网+”现代种业产业发展建议

1. 种业智能装备研发制造产业

加大对植物生命信息传感器核心技术及关键瓶颈技术研发投资，重点支持农业物联网、植物表型识别、作物生长调控机理模型等应用技术研究，重点研究以光学、电化学、电磁学、超声、图像等方法为基础的农业传感新机理，研发敏感器件、光电转换、微弱信号处理等核心零部件，攻克并研制一批高精度的高端农业环境传感器、土壤氮素等养分传感器、土壤重金属传感器、植物生理生态体征专用传感器，探索植物可穿戴生命信息传感器等新型传感器，把握国际竞争主动权，实现作物育种新型传感器的全面自主创新。加快研制自主可控的室内、温室高通量表型获取平台以及野外无人机、田间表型平台、农业机械搭载的表型高通量采集系统；加快集成创新种业装备数字化设计、制造工艺规划、制造过程控制等技术，加快发展小区精量播种机、智能收获测产机械、表型观测设备、种子精选加工流水线等种业智能装备制造产业，推进关键零部件、整机生产线的智能制造水平提升。

2. 商业化育种软件产业

着力补齐基础软件、高端商业化育种软件等短板弱项，重点加强农业生物技术与人工智能、大数据、智能装备等数字技术的深度融合，研究与推广种业企业商业化育种信息系统与设备的技术升级解

决方案，创建基因型-表型-环境多维大数据驱动的精准育种方案。打造具有国际先进水平的基础性、前沿性的商业化育种软件产业体系，支持育繁推一体化企业开展全基因组选择与智能育种，为定向高效改良和培育新品种提供科技与服务支撑。重点支持育繁推企业利用基于种业大数据的商业化育种软件开展育繁种创新、测试评价等相关研发与推广活动，推动种业大数据价值链的商业化运营，引领种业全行业的数字化转型与升级。创建一批国产商业化育种软件产业研发推广基地，加快构建“众研、众用、众创”的种业开源软件生态，引导国内外育种单位与信息化企业在现代种业专用软件与信息服务领域的技术、标准、人才、知识产权等方面开展产用协同创新合作，积极打造高素质人才队伍，支撑国产商业化育种软件高质量发展。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 3, 2022; Revised date: June 29, 2022

Corresponding author: Li Jin is a research fellow of Beijing Agricultural Information Technology Research Center. Her main research field is agricultural and rural informatization. E-mail: lij@nercita.org.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of the New Internet Plus Action Plan under the New Era and New Situation” (2021-XZ-24)

参考文献

- [1] 蒋和平, 杨东群, 王晓君. 新时期中国粮食安全问题与对策研究 [J]. 经济研究参考, 2022 (3): 2.
Jiang H P, Yang D Q, Wang X J. Research on China's food security problems and countermeasures in the new era [J] Economic Research Reference, 2022 (3): 2.
- [2] Wallace J G, Rodgers-Melnick E, Buckler E S. On the road to breeding 4.0: Unraveling the good, the bad, and the boring of crop quantitative genomics [J]. Annual Review of Genetics, 2018, 52 (1): 421-444.
- [3] 景海春, 田志喜, 李家洋, 等. 分子设计育种的科技问题及其展望概论 [J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(10): 1356-1365.
Jing H C, Tian Z X, Li J Y, et al. Introduction to scientific and technological problems and prospect of molecular design breeding [J]. Chinese Science: Life Science, 2021, 51(10): 1356-1365.
- [4] Reuzeau C, Pen J, Frankard V, et al. TraitMill: A discovery engine for identifying yield-enhancement genes in cereals [J]. Molecular Plant Breeding, 2005 (5): 753-759.
- [5] Brown T B, Cheng R Y, Sirault X R, et al. Trait capture: Genomic and environment modelling of plant phenomic data [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2014, 18: 73-79.

- [6] Li L W. A new innate sensor for an ancient molecular pattern [J]. *Science China Life Sciences*, 2014, 57(12): 1236–1237.
- [7] Committee on Science Breakthrough: A Strategy for Food and Agricultural Research. Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030 [M]. Washington DC: National Academies Press, 2019.
- [8] Lee U, Chang S, Putra G A, et al. An automated, highthroughput plant phenotyping system using machine learningbased plant segmentation and image analysis [J]. *PLoS One*, 2018, 13(4): 1–10.
- [9] Pound M P, Atkinson J A, Townsend A J, et al. Deep machine learning provides state-of-the-art performance in image based plant phenotyping [J]. *GigaScience*, 2017, 6(10): 83.
- [10] 万建民. 开展联合协作 占领生物育种制高点 [J]. *当代生态农业*, 2010 (Z1): 77.
Wan J M. Carry out joint cooperation and occupy the commanding heights of biological breeding [J]. *Contemporary Eco-Agriculture*, 2010 (Z1): 77.
- [11] Huang X H, Wei X H, Sang T, et al. Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces [J]. *Nature Genetics*, 2010, 42(11): 961–967.
- [12] 张兴平, 钱前, 张嘉楠, 等. 分子植物育种助推南繁种业转型升级 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(18): 3789–3804.
Zhang X P, Qian Q, Zhang J N, et al. Molecular plant breeding promotes the transformation and upgrading of Southern breeding industry [J]. *China Agricultural Science*, 2021, 54(18): 3789–3804.
- [13] 李菊丹. 我国农业植物新品种保护问题与对策研究——以品种权申请授权数据统计为基础进行分析 [J]. *知识产权*, 2019 (5): 70–82.
Li J D. Research on the problems and countermeasures of new agricultural plant varieties protection in China: Based on the statistics of variety right application authorization data [J]. *Intellectual Property*, 2019 (5): 70–82.
- [14] 赵久然, 王元东, 邢锦丰, 等. 高产优质、多抗广适玉米品种京科968的培育与应用 [C]. 武汉: 第十九届中国作物学会学术年会, 2020.
Zhao J R, Wang Y D, Xing J F, et al. Cultivation and application of Jingke 968, a maize variety with high yield, high quality, multi resistance and wide adaptability [C]. Wuhan: The 19th Annual Academic Meeting of China Crop Society, 2020.
- [15] 田立平, 单福华, 赵昌平, 等. 高产多抗小麦新品种——京花12号 [J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(7): 883.
Tian L P, Shan F H, Zhao C P, et al. A new wheat variety with high yield and multi resistance—Jinghua 12 [J]. *Journal of Wheat Crops*, 2019, 39 (7): 883.
- [16] 张颖, 郭新宇, 赵春江, 等. 信息技术与智能装备助力智能设计育种 [J]. *吉林农业大学学报*, 2021, 43(2): 119–129.
Zhang Y, Guo X Y, Zhao C J, et al. Information technology and intelligent equipment help intelligent design breeding [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2021, 43(2): 119–129.
- [17] 朱亮, 孟宪学, 赵瑞雪, 等. 国家农业科学数据共享中心资源建设探析 [J]. *数字图书馆论坛*, 2017 (11): 15–20.
Zhu L, Meng X X, Zhao R X, et al. Resource construction of national agricultural scientific data sharing center [J]. *Digital Library Forum*, 2017 (11): 15–20.
- [18] Gui S, Yang L, Li J, et al. ZEAMAP, a comprehensive database adapted to the maize multi-omics era [J]. *iScience*, 2020, 23(6): 1–10.
- [19] 郭庆华, 吴芳芳, 庞树鑫, 等. Crop 3D—基于激光雷达技术的作物高通量三维表型测量平台 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2016, 46 (10): 1210–1221.
Guo Q H, Wu F F, Pang S X, et al. Crop 3D—A high-throughput three-dimensional phenotype measurement platform for crops based on lidar technology [J]. *Chinese Science: Life Science*, 2016, 46(10): 1210–1221.
- [20] 金种子育种云平台发布 助力育种管理工作升级为云服务 [J]. *蔬菜*, 2016 (2): 12.
The release of golden seed breeding cloud platform helps to upgrade breeding management to cloud service [J] *Vegetables*, 2016 (2): 12.
- [21] 姚立民, 李明, 谢景鑫, 等. 无人机低空遥感在作物育种中的应用研究进展 [J]. *湖南农业科学*, 2020 (11): 108–112.
Yao L M, Li M, Xie J X, et al. Research progress on the application of UAV low altitude remote sensing in crop breeding [J]. *Hunan Agricultural Science*, 2020 (11): 108–112.
- [22] 黄爱萍, 张梅, 林海清, 等. 福建作物种质资源与共享利用问卷调查 [J]. *中国农学通报*, 2018, 34(29): 123–130.
Huang A P, Zhang M, Lin H Q, et al. Questionnaire survey on sharing and utilization of crop germplasm resources in Fujian [J]. *Chinese Agronomy Bulletin*, 2018, 34(29): 123–130.