



占锦川,朱万斌. 基于大数据和物联网技术的种业南繁CRO服务管理平台设计与应用[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(10): 406-413.  
ZHAN Jinchuan, ZHU Wanbin. Design and application of a seed industry nanfan CRO service management platform based on big data and the Internet of Things technologies[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(10): 406-413.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.10.31

## 基于大数据和物联网技术的种业南繁CRO服务管理平台 设计与应用

占锦川 朱万斌\*

(中国农业大学 农学院, 北京 100193)

**摘 要** 为解决传统“候鸟式”南繁在海南仅可实现材料加代环节、异地协同效率低、服务资源分散、数据管理粗放的长期难题,本研究围绕海南南繁育种主要环节,设计了一种基于大数据和物联网技术的种业南繁CRO(Contract research organization)服务管理平台,实现了与物联网技术协同应用,覆盖海南南繁育种CRO服务全链条,从种质资源选择、育种试验设计、试验田管理、数据采集与分析到成果转化的育种全生命周期管理体系,结合精准环境监测、作物表型监测、人工智能、大数据分析、多层级权限管理、数据加密和区块链溯源等技术手段,实现南繁育种智能化、精细化和高效化。应用效果表明,CRO服务打通了作物科研育种产业上中下游全链条,实现服务资源整合,使育种效率提升30%,成果转化效率提升15%。南繁CRO服务管理平台的应用可有效拓展南繁功能边界,从加代扩展到种质资源引进、基因编辑、测试评价、知识产权保护和成果转化等科研育种全生命周期,推动南繁育种向数字化、集约化转型。

**关键词** 南繁育种; 软件平台; CRO服务; 物联网; 人工智能

**中图分类号** S382

**文章编号** 1007-4333(2025)10-0406-08

**文献标志码** A

## Design and application of a seed industry nanfan CRO service management platform based on big data and the Internet of Things technologies

ZHAN Jinchuan, ZHU Wanbin\*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** To address the inherent challenges of traditional “migratory bird-style” southern breeding in Hainan Province, which only facilitates the generation advancement of materials, suffers from low efficiency in cross-regional collaboration, dispersed service resources, and extensive data management, this study focused on the key stages of scientific breeding in Hainan’s southern region, designed a CRO (Contract research organization) service management platform for the seed industry’s southern breeding by leveraging big data and the Internet of Things (IoT) technologies. This platform realized a collaborative application with IoT technology, covering the entire CRO service chain of scientific research and breeding in Hainan’s southern breeding. It established a full-life-cycle management system for scientific research and breeding from germplasm resource selection, breeding test design, experimental field management, data collection and analysis to research achievement transformation. By combining technologies such as precise environmental monitoring,

收稿日期: 2025-02-21

基金项目: 三亚崖州湾科技城科研项目(2022菁英人才项目)

第一作者: 占锦川(ORCID:0009-0000-8048-6845),博士研究生,E-mail:100906941@qq.com

通讯作者: 朱万斌(ORCID:0000-0002-3267-964X),教授,主要从事南繁产业研究,E-mail:Wanbin@cau.edu.cn

crop phenotype monitoring, artificial intelligence, big data analysis, multi-level authority management, data encryption, and blockchain traceability, it can achieve intelligent, refined, and efficient scientific research and breeding in southern breeding. The application showed that the CRO service has unblocked the entire upstream-midstream-downstream chain of the crop scientific research and breeding industry, realized the integration of service resources, increased breeding efficiency by 30%, and improved achievement transformation efficiency by 15%. The application of the nanfan CRO service management platform has effectively expanded the functional boundaries of nanfan, extending from generation-doubling to the entire life-cycle of scientific research and breeding, including germplasm resource introduction, gene editing, testing and evaluation, intellectual property protection, and achievement transformation, thus promoting the transformation of scientific research and breeding towards digitization and intensification.

**Keywords** nanfan breeding; software platform; CRO service; Internet of Things; artificial intelligence

种子是农业的“芯片”，种业是国家战略性、基础性的核心产业<sup>[1]</sup>。南繁基地作为新品种选育的“加速器”，我国新育成农作物品种中超过 70% 经过南繁选育，但种业科研周期长、投入大、专业化程度高<sup>[2]</sup>。传统的南繁工作，主要是育种家或遗传学家仅以科研材料的冬季加代繁育，南繁季后再把大量的育种或遗传材料运送回北方，经常发生珍贵材料运输途中损失事故。据统计，传统的育种工作中种质资源流转周期平均 3~6 个月，南北调运育种材料中任务对接耗时超 40%，环境数据采集误差率 > 15%。更为艰巨的挑战是，随着生物育种产业化加快推进，大部分科研主体难以独立完成全部科研环节，单一领域科研难以形成较大突破，亟需分工协作集成创新。CRO (Contract research organization, 合同研究组织) 起源于医药行业，是指通过合同形式为制药企业、生物技术公司或医疗器械企业提供药物研发全流程专业化外包服务的科学机构。在作物育种行业，国际上也有通过 CRO 分工协作的服务，如先正达 (Syngenta)、科迪华 (Corteva) 为中小型农场或区域公司按照客户的目标性状需求，提供从基因挖掘到田间测试的全流程定制化育种服务，包括杂交组合测试、性状导入等，按合同收取研发费用。1989 年在荷兰瓦赫宁根创立的农业生物技术公司 KeyGene，依托其核心专利技术，开发了基因解析、特征发现、数字表型、精准育种、细胞和组织设计以及基因组育种六大作物创新技术平台，通过 CRO 方式实现商业化，核心技术 IP 授权的方式支持合作伙伴在植物育种和研究方面的个性化需求。面对当前育种科研逐步趋向多资源集中、多学科交叉和多因素需求的特点，当前育种科研服务存在以下 3 个客观困难：一是国家层面大型科研平台设施建设标准与科研需求不匹配 (使用率 < 65%)，难以实现高效共享利用；二是

服务响应时效与育种周期不匹配 (平均响应延迟 72 h)，科研服务对接和交付时间长；三是数据采集精度与试验要求不匹配，开展分子育种的基础科研耗材和表型观测设备不足。

现代种业已进入以“常规育种-现代生物技术育种-信息化育种”为特征的育种 4.0 时代<sup>[1]</sup>。近年来，随着国家种业振兴战略的实施，海南省依托自由贸易港加快南繁硅谷建设，南繁科研服务信息化能力亟待补足<sup>[3]</sup>。因此，本研究拟基于大数据和物联网技术，设计开发种业南繁 CRO 服务管理平台，通过整合科研服务资源条件、提升作物育种全链条数字化水平，以期提高南繁科研和育种创新效率，促进科研单位、种子公司和农民合作社等产业链各方的协作，发展服务南繁种业的新质生产力。

## 1 种业南繁 CRO 服务平台设计方案

在海南省率先开展面向南繁育种科研创新的 CRO 服务，建立种业南繁 CRO 服务管理平台，实现一站式、全流程服务，要满足技术整合和标准化需求、数据共享和知识产权安全需求以及客户简单易用需求。平台的设计方面要集成大数据、云计算、物联网和人工智能等技术，同时要对接提供服务的工作人员<sup>[4]</sup>，确保平台的操作可以被快速接受和有效使用。本研究参照医药研发 CRO 服务模式相关系统，高水平打造种业南繁 CRO 服务管理平台和科研基地物联网技术应用，让南繁育种科研工作智能化、精细化和高效化，让服务平台充分发挥育种效率提升的“加速器”优势<sup>[5]</sup>。

### 1.1 设计需求

1) 对接全链条用户。平台开发除满足运营管理人员的常规需求外，服务提供方和使用方也较为多样<sup>[6]</sup>。一是育种科研单位和企业，属于主要的服

务使用方,需满足各环节服务咨询、订单下达、数据获取、线下对接等功能<sup>[7]</sup>;二是CRO服务单位,属于主要的服务提供方,需满足服务上线、服务对接、服务交付、信息管理等功能;三是运营管理方,需满足服务商管理、服务信息和公共信息发布、线下服务点管理和客服咨询等功能。

2)实现多场景集成。平台要实现科研育种业务“一站式”服务,不局限于某一类农作物或某一类农业服务,而是包括实验室育种服务、检验检测服务、田间育种服务和知识产权服务等其他服务。同时,根据地方发展环境,可以提供育种科研场地租赁、大型公共仪器使用、个性化服务配置等。

3)兼容模块化技术。技术服务的提供方在全链条服务中往往只能提供一个环节的技术服务,而平台构建可以根据需要灵活扩展功能模块以及接入新的技术手段<sup>[8]</sup>。同时,通过数据整合保证各板块数据互通与标准化,实现数据流通与共享,促进农业大数据的整合应用<sup>[9]</sup>。

4)信息安全高标准。通过线上平台,建立严格的数据访问权限管理,确保只有授权用户能访问敏

感数据。采用传输加密(SSL/TLS)、存储加密(SM4)及完善的密钥管理,利用Sm3Hmac数字签名技术实现数据的不可篡改性,引入多因素身份验证(MFA)<sup>[10]</sup>,并通过数据隔离与分区管理确保不同育种单位数据的独立性。从管理、技术和操作流程多方面入手,通过分类标识、专属存储和隔离区设置保护育种材料,同时部署监控和安保措施防止人为破坏<sup>[11-12]</sup>。数据安全需通过物联网设备实时采集、云端同步、加密传输和多地点备份<sup>[8]</sup>,避免因设备故障或突发事件导致数据丢失<sup>[13]</sup>。标准化操作流程和权限管理则确保材料和数据的规范化使用,并通过人员培训提高安全意识。

1.2 系统架构

为整合南繁科研育种领域上游、中游和下游种业CRO服务资源,设计的种业南繁CRO服务管理平台整体系统架构如图1所示。系统架构分为基础设施层、能力支撑层、业务应用层、展示层和用户层,实现服务资源整合,依托崖州湾先进计算机中心信息设备和通信网络基础设施,为科研单位、高校和种业企业提供全流程种业CRO服务。



图1 种业南繁CRO服务管理平台系统架构图

Fig. 1 System architecture of the seed industry nanfan CRO service management platform

1)基础设施层。依托崖州湾先进计算机中心(云主机、存储设备、安全设备、网络设备),田间物联网设备(气象、土壤、水质、表型机器人/监控、虫情灯、孢子仪)和通信网络(互联网、5G/4G设备)等

基础设施,为应用平台提供基础设施支撑、运行环境 and 安全保障。

2)能力支撑层。通过崖州湾已建成统一身份认证平台,使用多源异构数据集成平台接入科研基

地田间物联网设备、视频流和业务数据,集成消息、日志、电子签章、物联网和视频等服务,为应用平台提供基础能力支持。

3)业务应用层。应用平台搭建综合服务管理子系统、CRO 服务管理子系统、南繁数据管理子系统和系统管理子系统 4 个业务板块,支撑从服务商家入驻、CRO 服务商品发布、运营管理、科研主体用户下单选购、试验基地数据采集,到数据分析和科研成果转化一整套种业科研全流程服务。

4)展示层。基于 4 个业务应用子系统,提供 PC 端平台统一门户、移动端南繁 CRO 小程序和大屏端智慧南繁指挥大屏 3 个展示与应用终端。

5)用户层。应用平台面向涉及科研育种全流程所有用户,包括政府部门、科研单位/高校、CRO 服务单位、种业企业、农户和社会公众等用户。

### 1.3 技术选型

应用平台使用 B/S 架构,前后端分离模式。后端接口使用 Java 开发,基于 SpringBoot 框架搭建,通过 Jwt-Token 机制进行身份鉴别和权限控制。数据库使用国产达梦数据库 DM8 和 Redis 缓存数据库。前端 UI 界面基于 Node.js 开发,使用 Vue3 和

uni-app 框架搭建。集成开发工具选用 IntelliJ IDEA、Eclipse 和 VSCode,源代码版本控制使用 Git,软件测试工具使用 Jemeter。应用运行中间件选用 Tomcat,WEB 中间件选用 Nginx 作静态资源转发和反向代理。系统部署服务器选用 4 台国产统信操作系统 UOS20 云服务器(8 核 16G 内存 400G 存储),分别为 WEB 服务器、应用服务器、数据库服务器和备份服务器,并配备独立公网 IP(20M 以上带宽)和域名。

### 1.4 业务流程

#### 1.4.1 科研育种辅助决策流程

作物科研育种包括基础研究及育种技术开发、品种选育、中间试验、品种审定、种子生产加工和品种推广等阶段。在育种全流程中,涉及实验室育种服务、检验检测服务、田间育种服务、知识产权服务和其他 CRO 服务,科研育种辅助决策流程见图 2。通过科研基地物联网信息化建设,采集基地水、土、气环境数据,监控数据,病虫害数据和作物表型数据,形成科研育种大数据;通过人工智能算法模型,为科研人员筛选作物性状、新品种选育提供辅助决策工具。

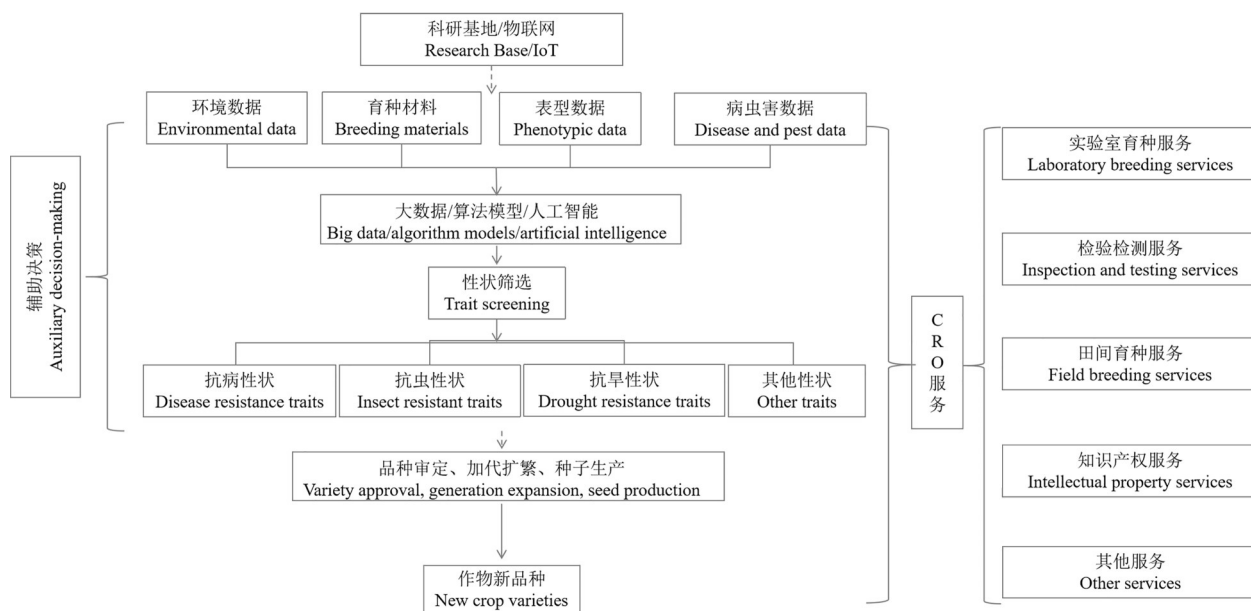


图 2 科研育种辅助决策流程图

Fig. 2 Flowchart for assisted decision-making in scientific breeding

#### 1.4.2 CRO 服务业务流程

CRO 服务业务流程见图 3,主要包括:

1)商品发布。CRO 服务商家通过平台进行入

驻申请,运营单位对商家进行审核,商家入驻审核通过后成为 CRO 服务商。商家可以上传 CRO 服务商品,平台对商家上传的商品信息进行合规性

审查,审查通过后,商家可以将它们上架发布。

2)用户下单。科研单位、高校和种业企业等用户通过统一身份认证平台注册、登录后,可以通过PC端或移动端小程序浏览已经发布上架的CRO服务商品,下单购买,采购服务商品。商家接到用户下单信息后,进行接单,提供CRO服务。服务完成后,用户可以进行服务结果确认,服务评价。

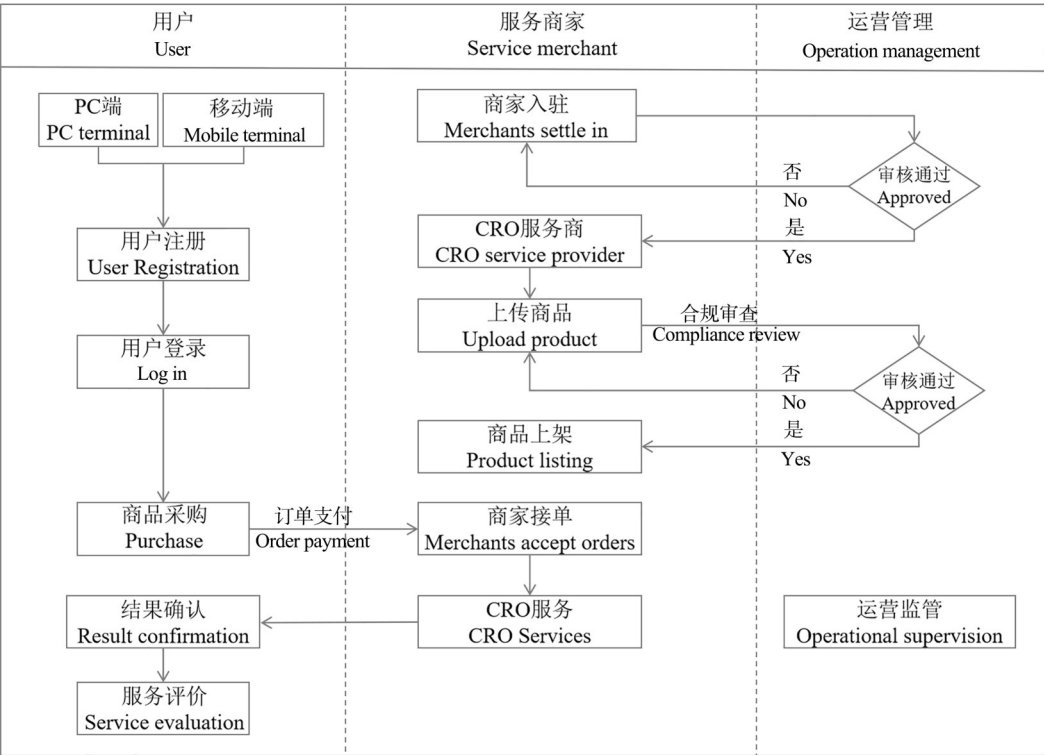


图3 CRO服务业务流程图

Fig. 3 Flowchart of CRO service operations

2 种业南繁CRO服务管理平台实现

2.1 软件设计及开发

系统使用B/S架构,前后端分离模式。数据库使用达梦数据库,缓存使用redis缓存数据库。后端接口使用Java语言开发,基于SpringBoot框架搭建,使用Token(JWT)机制实现数据和接口权限控制。前端页面开发基于Node.js环境,使用Vue3和uni-app框架搭建。系统开发流程共分为3个步骤:第一步,数据库设计。根据CRO业务流程和物联网设备传感器类型,设计系统权限、CRO业务和物联网数据相关库表。第二步,开发系统权限控制、CRO业务管理和物联网数据管理接口。根据业务需求开发数据管理接口,提供物联网数据接入存储、CRO业务数据查询、编辑和删除等功能。同时,安装部署监控摄像头、气象站、水质传感器、土壤传感器、虫情灯、孢子仪和表型机器人等物联网设备,

通过物联网数据接口接收设备数据,解析后存入数据库。第三步,开发PC端和移动端前端界面,包括系统管理子系统、CRO服务管理子系统、综合服务管理子系统和南繁数据管理子系统。

2.2 系统实现

平台建设采用“1+3+4”模式,即1个种业南繁CRO服务管理平台,PC端统一门户、移动端南繁CRO小程序和大屏端智慧南繁指挥大屏3个应用终端,综合服务管理子系统、CRO服务管理子系统、南繁数据管理子系统和系统管理子系统4个业务系统,主要实现以下3个方面功能:

1)商家入驻和CRO服务商品发布。平台支持商家入驻,已经入驻的CRO服务商家可以新增商品信息。运营人员可以对商家和商品进行推荐、发布广告和活动等。

2)用户下单采购服务。科研单位、高校和种业企业用户可以浏览CRO服务商品,下单购买服务。

3)服务数据分析与供需调度。统计分析商家入驻数据、商品发布数据、服务交易数据和南繁服务站数据等,构建智慧南繁 CRO 数字看板,让运营管理人员一屏全览南繁 CRO 服务全貌,为智慧决策和供需调节提供数据支撑。

2.3 科研基地物联网技术集成应用

以崖州区 4 个智慧南繁实验基地为研究对象,基地分别位于坡田洋、高地村、坝头村和红旗队,占地 96.53 hm<sup>2</sup>,主要进行水稻、玉米作物科研育种。为实时监测科研基地田间小气候、土壤环境、水环境、病虫害情况和作物生长情况,部署气象站 33 套,土壤监测站 20 套,水质监测站 2 套,智能虫情测报灯 9 套,智能病菌孢子仪 3 套,作物生长监测高清球形摄像机 54 套,作物表型机器人 1 套。科研基地物联网技术应用可分为田间环境监测和试验辅助决策 2 个部分:

1)田间环境监测。在田间安装高清球机、气象监测站、土壤监测站、水质监测站、智能虫情灯、病

菌孢子仪和作物表型机器人等环境和作物表型监测设备,实时对田间作物生长情况、小气象、土壤、水环境、虫害、病害变化和作物表型等进行监测,采集田间环境和作物生长数据。

2)田间试验辅助决策。根据监测设备采集的作物生长数据、空气温度、空气湿度、光照强度、风向、风速、降雨量、大气压、二氧化碳浓度、土壤温度、土壤湿度、水质 PH、水溶解氧、虫害数据和病菌孢子等信息,通过大数据分析技术,辅助科研人员进行科研试验分析、作物性状筛选,加速科研育种进程。

3 种业南繁 CRO 服务平台的实施效果分析

3.1 科研育种效率

种业南繁 CRO 服务管理平台与传统南繁在科研育种各环节相比效率均有较大提升,主要指标对比情况见表 1。一是资源引进环节,借助海南自贸港政策,合规速度从 90 d 缩至 30 d;二是资源利用

| 表 1 种业南繁 CRO 服务管理平台较传统南繁效率提升对比                                                                                                               |                       |                               |                            |                               |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Table 1 Comparison of efficiency improvement between the seed sndustry nanfan CRO service management platform and traditional nanfan methods |                       |                               |                            |                               |                                |
| 环节<br>Stage                                                                                                                                  | 关键指标<br>Key indicator | 转变方式<br>Transformation method | 传统南繁<br>Traditional nanfan | CRO 服务<br>CRO service         | 效率提升<br>Efficiency improvement |
| 资源引进<br>Resource import                                                                                                                      | 跨境种质引进<br>合规速度        | 海南自贸港管理政策<br>审批下放加快服务         | 90 d                       | 30 d                          | 66.70%                         |
| 资源利用<br>Resource use                                                                                                                         | 资源库调用<br>效率           | 跨机构数据共享和<br>资源惠益共享平台          | 1~2 周                      | 秒级检索                          | >90%                           |
| 科研育种<br>Scientific<br>breeding                                                                                                               | 育种材料表型<br>采集          | 自动化设备采集                       | 180 h/(hm <sup>2</sup> ·人) | 60 h/<br>(hm <sup>2</sup> ·人) | >50%                           |
|                                                                                                                                              | 主要作物育种<br>效率          | 单倍体、基因编辑、转<br>基因等生物技术叠加       | 3 年 6 代                    | 1 年 5 代                       | >30%                           |
|                                                                                                                                              | 数据采集频次<br>与准确性        | 遥感/无人机/物联网<br>传感器             | 1~2 次/d                    | 240 次/d                       | 120 倍以上且误<br>差率<5%             |
|                                                                                                                                              | 病虫害监测<br>响应时间         | 无人机/物联网<br>传感器采集预警            | 3~5 d                      | <1 h                          | 20 倍以上                         |
| 测试评价<br>Test and<br>evaluation                                                                                                               | 作物基因型<br>筛选效率         | 高通量测序+AI生物<br>信息分析(每千样本)      | 3 个月左右                     | 1 个月                          | >50%                           |
|                                                                                                                                              | 热带抗逆性<br>验证效率         | 海南天然的高温高湿<br>逆境测试环境设施         | 2 年                        | 8 个月                          | 66.70%                         |
| 检验检测<br>Testing                                                                                                                              | 品种纯度/<br>真实性检测        | 分子标记芯片快速<br>检测(每千样本)          | 15~30 d                    | 3~7 d                         | >50%                           |
| 成果保护<br>Variety<br>protection                                                                                                                | 植物新品种权<br>保护申请        | 新品种保护审查协作<br>中心(绿色通道)         | 2~3 年                      | 1~1.5 年                       | >40%                           |
| 成果转化<br>Transformation                                                                                                                       | 育种成果<br>转化率           | 专项服务,行业聚焦                     | <10%                       | 20%~30%                       | >15%                           |

上,数据共享使资源库调用从1~2周实现秒级检索;三是科研育种方面,表型采集、育种效率等大幅提升;四是测试评价、检验检测环节,时间显著缩短;五是成果保护与转化上,新品种权保护申请时长缩短,育种成果转化率从10%~20%提升至20%~30%。总体来看,CRO服务平台在各环节均展现出明显的效率优势。

### 3.2 试验基地环境精准监测

通过物联网技术,实现了对南繁基地的实时监测,科研人员可以通过手机或电脑随时查看田间数据,通过物联网设备,实时监测土壤湿度、温度、养分以及气候数据(如光照、降雨量、温度),为科研人员提供精准数据支持,帮助科研人员更精准地掌握田间操作时间节点,提高育种效率。部署气象、土壤、水质、孢子仪、虫情灯和作物表型机器人等设备122台(套),可实现:1)环境参数采集精度达0.01级;2)异常状态预警响应时间<10 min;3)数据采集频率从人工1~2次/d提升至自动240次/d。此外,物联网系统每6 min更新一次数据,确保科研人员能够及时调整田间管理措施。

综上,种业南繁CRO服务管理平台通过整合资源、优化服务流程、引入物联网技术等措施,显著提升了南繁科研工作的智能化、精细化和高效化水平。各类科研主体的多样化需求得到了满足,各板块使用量不断增加,线上采购时间大幅缩短,物联网接入保证了实时监测,为南繁科研提供了强大的技术支持。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

通过搭建种业南繁CRO服务管理平台,实现了与物联网技术协同,建立了覆盖南繁种业科研全链条,从种质资源选择、育种试验设计、试验田管理、数据采集与分析到成果转化的科研育种全生命周期的种业南繁CRO服务管理体系,结合精准环境监测、作物表型监测、人工智能、大数据分析、多层次权限管理、数据加密和区块链溯源等技术手段,实现育种效率提升30%,成果转化效率提升15%。研究证实南繁CRO服务有效拓展了南繁功能边界,推动科研育种向数字化、集约化转型。

种业南繁CRO服务管理平台系统已成为农业信息化技术在种业领域的典型案例,平台使用了

uni-app、Vue3、SpringBoot、GIS等最新软件架构和技术,集成了种业上游、中游和下游CRO服务,实现了从种质资源筛选到育种成果转化的全链条数字化管理,有效提升了科研效率。通过精准的数据采集和智能化管理,平台优化了实验田布局和育种流程,减少了试验周期,降低了成本。同时,基于人工智能和大数据分析,平台提供动态预测和育种模型优化,帮助科研人员更快、更精准地选择优质品种。通过高安全级别的数据和材料保护,科研单位能够放心共享数据资源,促进合作与创新,加速科研成果转化,为粮食安全和种业竞争力提供科技保障。

### 4.2 展望

种业南繁CRO服务管理平台于2024年10月发布上线,截至2025年1月已入驻80余家CRO服务主体,包括三亚崖州湾科技城已集聚的50余家各类种业CRO服务主体(其中20家被认定为海南省南繁种业CRO组织),共发布了400多个CRO服务商品(包括实验室育种服务、检验检测服务、田间育种服务、知识产权服务和其他服务)。其中南繁共享用地服务板块已上传3200 hm<sup>2</sup>南繁基地信息(已用和待用土地信息),完成了240 hm<sup>2</sup>土地流转交易,为科研机构和企业提供“一站式”线上看地、选地、租地服务。当前系统在边缘计算能力(时延>200 ms)、多源数据融合(异构数据整合度82%)等方面仍需优化。种业南繁CRO服务管理平台还处于服务和育种数据快速积累和应用阶段,随着平台的不断推广,后台大量数据汇聚,南繁CRO服务+物联网技术协同应用成效将进一步释放。下一步,平台的功能将进一步拓展,研究开发基于数字孪生的虚拟育种系统,充分利用人工智能技术,推动南繁育种向更加智能化、规模化发展,助力国家南繁种业振兴。

## 参考文献 References

- [1] 种聪,郭雨溪,岳希明.中国种业振兴:发展历程、关键问题与机制构建[J]. 农业现代化研究, 2023, 44(2): 205-213  
Chong C, Guo Y X, Yue X M. The revitalization of China's seed industry: Development process, main problems, and mechanism construction[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2023, 44(2): 205-213 (in Chinese)
- [2] 张艳敏.南繁活动中育种材料的权属关系及产权保护[J]. 分子植物育种, 2022, 20(24): 8216-8220  
Zhang Y M. Ownership and property right protection of breeding materials in nanfan breeding activities[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(24): 8216-8220 (in Chinese)

- [3] 海南省财政厅.《海南省支持种业高质量发展若干措施》政策解读[EB/OL]. [2025-01-21]. <https://mof.hainan.gov.cn/sczt/xzgfwj/202401/4dfbcbaf204e598b2a54cddb0298d7/files/32f52f8e22fa4c74be57bc7936c65881.pdf> Hainan Provincial Department of Finance. Policy interpretation of the “several measures for supporting the high-quality development of the seed industry in Hainan Province” [EB/OL]. [2025-01-21]. <https://mof.hainan.gov.cn/sczt/xzgfwj/202401/4dfbcbaf204e598b2a54cddb0298d7/files/32f52f8e22fa4c74be57bc7936c65881.pdf> (in Chinese)
- [4] 海南省人民政府. 智慧南繁 CRO 综合服务平台启用[EB/OL]. [2025-01-21]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/5309/202403/ff6a774a40df411cb0f6fc76fdad1dd0.shtml> The People's Government of Hainan Province. The launch of the intelligent nanfan CRO integrated service platform[EB/OL]. [2025-01-21]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/5309/202403/ff6a774a40df411cb0f6fc76fdad1dd0.shtml> (in Chinese)
- [5] 三亚崖州湾科技城. 南繁种业向新图强[N]. 海南日报, 2024-12-02(6) Sanya Yazhou Bay Technology and Technology City. Seeking new strength in nanfan seed industry [N]. *Hainan Daily*, 2024-12-02(6) (in Chinese)
- [6] 崔同贵, 李明江, 黄波, 杨华军. 智慧农业管理平台的设计与实现[J]. 福建电脑, 2024, 40(12): 72-77 Cui T G, Li M J, Huang B, Yang H J. Design and implementation of a smart agriculture management platform[J]. *Journal of Fujian Computer*, 2024, 40(12): 72-77 (in Chinese)
- [7] 徐敏. 基于物联网技术的智慧农业平台的设计与实现[J]. 网络安全和信息化, 2024(11): 79-82 Xu M. Design and implementation of a smart agriculture platform based on Internet of Things technology[J]. *Cybersecurity & Informatization*, 2024 (11): 79-82 (in Chinese)
- [8] 楼飞. 南繁基地: 上海农村经济的新引擎与种业发展高地[J]. 上海农村经济, 2024(12): 8-9 Lou F. Nanfan base: A new engine for shanghai rural economy and a high-ground for seed industry development[J]. *Shanghai Rural Economics*, 2024 (12): 8-9 (in Chinese)
- [9] 缪玲. 基于 Android 平台的智慧农业信息采集系统的开发[D]. 南京: 南京邮电大学, 2015 Miao L. Development of smart agriculture information collection system based on android platform[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2015 (in Chinese)
- [10] 宋俊慷, 黄秀梅, 杨秀增. 物联网开放平台在智慧农业监测系统中的应用[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(18): 89-91 Song J K, Huang X M, Yang X Z. Application of internet of things open platform in smart agriculture monitoring system[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2020, 31(18): 89-91 (in Chinese)
- [11] 杨小琪. 基于物联网智慧农业平台建设大数据的研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2017 Yang X Q. Research on big data for the construction of smart agriculture platform based on internet of things[D]. Qufu: Qufu Normal University, 2017 (in Chinese)
- [12] 毛林, 成维莉. 智慧农业大数据平台构建的研究[J]. 农业网络信息, 2018(6): 6-10 Mao L, Cheng W L. Research on the construction of big data platform for smart agriculture[J]. *Agricultural Network Information*, 2018(6): 6-10 (in Chinese)
- [13] 蔡立雄. 基于 Node.js 的智慧农业数据采集平台的设计与实现[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018 Cai L X. Design and implementation of smart agriculture data collection platform based on Node.js[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2018 (in Chinese)

责任编辑: 申青苗



**第一作者简介:** 占锦川, 中国农业大学农学院作物耕作与栽培学博士研究生, 农艺师, 上海农易信息技术有限公司总经理。长期从事智慧农业、农产品电商领域解决方案设计与规划研究, 主要参与建设了为农综合信息服务平台、食用农副产品质量安全信息平台、上海农业物联网应用工程技术研究中心建设和上海绿叶菜全产业链大数据系统等, 近年来还积极参与“南繁硅谷”建设, 助力国家南繁种业创新, 参与开发了崖州区农业大数据平台、三亚芒果区块链、南繁共享用地服务平台、南繁科研育种基地虫情自动监测系统、智慧南繁 CRO 综合服务平台等。共获得省部级科技奖励 10 项, 授权专利 10 余项, 在国内权威刊物上发表论文 20 余篇, 编撰出版了《农产品电子商务》和《农业物联网应用》2 本专著。曾任上海理工大学医疗器械与食品学院客座教授, 上海交通大学数字农业联合实验室副主任等职务。获得上海领军人才、上海市百名优秀创业女性、上海十大杰出青商、CCTV 十大“三农”创业致富榜样、海南自由贸易港 D 类人才等多项荣誉称号。



**通讯作者简介:** 朱万斌, 博士, 中国农业大学农学院教授。主要从事生物质工程和可持续农业研究。自 2003 年起, 参与了国家生物质工程战略发起的研究, 主要参与国家生物质能“十二五”和“十三五”发展规划编制。在国内率先提出了生物天然气的概念和技术路线, 发明了固定床厌氧反应器等先进技术; 作为主要技术负责人建成了国内第一个日产万方车用生物天然气工程和第一个生物天然气中试基地。先后承担国家和省部级科研项目 10 余项, 在“十一五”和“十二五”期间担任科技支撑计划项目课题副主持和子课题主持。以第一作者和通讯作者在国内外期刊, 如 *Green Chemistry*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Journal of Energy Chemistry* 等发表论文 100 余篇, 主持和参编专著 10 余部, 申报专利 10 余项。