

咨 询 报 告



中 国 农 业 科 学 院
中 国 农 业 发 展 战 略 研 究 院

第 100 期

2023 年 12 月 18 日

关于加快推进农业领域生物智能设计与制造发展的建议

摘要：习近平总书记在 2020 年中央农村工作会议上强调：“以生物技术和信息技术为特征的新一轮农业科技革命正在孕育大的突破，各国都在抢占制高点。作为一个农业大国，我们绝不能落后。”当前，农业领域生物智能设计与制造已经发生全方位重大技术突破，催生了新产业、新模式和新动能，对全球生物种业格局和农产品供给产生重大影响。为加快我国农业领域生物智能设计与制造发展，推动形成农业及相关领域新质生产力，支撑科技强国和农业强国建设，建议：攻克关键核心技术，构建生物智能设计与制造底盘；部署农业领域专项，建立相关平台及长期支持机制；加强交叉学科人才培养，构建农业领域 ITBT 融合创新体系；拓展未来产业发展方向，加强数字化和智能化应用。

一、全方位重大科技突破，推进农业领域生物智能设计与制造快速发展

随着算法、算力以及数据能力的增长和对生物调控机制的深入了解，农业领域不断发生重大变革。基因组、转录组、表观遗传组、蛋白质组、代谢组、单细胞组等生命科学领域组学数据的急剧增长，推动了信息技术在生命科学领域的大规模应用。生物技术逐渐向系统化、工程化和信息化方向发展，向可计算、可定量、可调控、可预测的循环模式跃升。

(一) 农业领域生物数据采集技术的快速迭代推进大数据发生量级跃迁

表型组、基因组等大数据高通量获取是育种大数据发展的重要基础。随着新一代测序技术、生物传感器、表型高通量获取设备和平台、物联网技术、人工智能技术飞速发展及其在农业领域的应用，促进了表型、基因型和环境互作等作物育种大数据高通量采集和分析，使表型鉴定从宏观走向微观。

(二) 大数据标准和管理技术突破推进农业生物大数据实现有效管理

2015年，美国国家超级计算机应用中心开始运用大数据进行育种研发，先正达、拜耳、巴斯夫等国际种业公司先后构建AgriEdge Excelsior平台、FieldView平台、xarvio™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，与此同时，可为农业生产提供播种建议、病害预警、农艺分析、科学决策等简捷、高效、精准的服务。

(三) 数据挖掘技术突破及加速迭代支撑生物大数据在农业领域有效利用

随着计算机视觉算法、图像处理和机器学习分类方法在表型

等大数据解析中的应用，许多商业和科研团队研发了自动分析流程，对植株大小、形状、生长动态等重要性状进行提取。通过使用开源软件库如 Open CV、SciKit-Image、Scikit Learn 和 Tensor Flow 等设计开发的自动化表型分析流程，有望解决表型组学研究中的数据解析瓶颈。

(四) 全基因组层面构建生物育种智能设计模型大幅提高育种效率

传统育种主要依靠育种家的经验进行选择，效率较低。分子育种能大幅度提高育种效率，降低成本，其中标记辅助选择是分子育种的常用手段，但是适用于由较少主效基因决定的性状。全基因组选择是对传统遗传育种技术的一次重大革新，是标记辅助选择思想在全基因组范围内的扩展，根据训练群体全基因组上的分子标记基因型和表型之间的关联构建模型，计算表型未知的育种群体个体的基因组估计育种值，做出合理的预测和选择。人工智能、机器学习和深度学习等新型技术也被应用到农业育种模拟中。应用人工智能模拟的方法，人工设计聚合优势基因，建立具有“理想基因型”的虚拟基因组，进而采用机器学习算法模型估算测试亲本基因组与虚拟亲本基因组组配产生的杂交后代的“理想表型”。

(五) 合成生物技术拓展智能设计与制造发展领域空间

合成生物技术的广泛应用，将催生智能生物农业、精准生物医药、先进生物制造、高效生物环保、绿色生物能源等战略性新兴产业，引发继 DNA 双螺旋结构发现和基因组测序之后的第三次生物学革命。合成生物技术通过引入工程学的模块化概念和系统设计理论，以人工合成 DNA 为基础，设计创建元器件或模块，

并通过这些元器件改造和优化现有自然生物体系或从头合成具有预定功能的全新人工生物体系，从而突破自然体系的限制瓶颈，实现合成生物体系在智能农业、现代制造业、能源材料等领域的规模化应用。

二、国外农业领域及国内生物制药领域生物智能设计与制造已经取得重大进展

基因编辑、合成生物等生物技术（BT）与大数据、人工智能等现代信息技术（IT）交叉融合，形成以“BT+IT”为典型特征的高效农业生物育种技术体系，随着算法、算力以及数据能力的不断增长，对农业生物调控机制的了解不断加深，这将强力推动精准化、高效化、智能化种业技术革命，驱动现代育种技术快速变革迭代，形成农业领域重要的新质生产力，对全球生物种业格局和农产品供给产生重大影响。

（一）国外农业领域生物智能设计与制造已取得重大突破性成果

以美国、欧洲等国家为代表的发达国家率先布局信息技术和生物技术发展战略，成立了具有权威性的国家级生物信息中心，原始创新了基因编辑、合成生物等生物技术，引领全球智能设计与合成领域发展。

一是基因组选择大大缩短育种世代间隔。新西兰（2008年）、美国（2009年）、加拿大（2009年）、德国（2009年）、澳大利亚（2011年）、意大利和瑞士（2011年），迅速将基因组选择应用于奶牛育种实践并实现产业化，采用全基因组选择准确预测青年公牛种用价值，使世代间隔缩短为21个月。2009年，美国和加拿大率先向全球发布了奶牛全基因组选择成果。截至2017年，美国

采用基因组芯片对主要奶牛品种累计检测 200 万头。从 2010 年起，英国 PIC 猪育种公司每年育种群芯片检测已达 10 万头。目前，全球主要发达国家都已实现了奶牛、肉牛、猪、羊、鸡等的全基因组选择，育种进程大大加快，选育成本也大幅降低。

二是全基因组选择已形成了针对于特定育种资源的全基因组选择数据、预测模型和育种方案。拜耳（孟山都）、科迪华（陶氏杜邦）等国际种业巨头已在玉米等作物上实现了全基因组选择相关技术的规模化应用。拜耳率先在全球数百个试验站数万个试验点开展表型数据、基因型数据、环境数据获取工作，之后基于育种试验大数据和分子标记数据，利用人工智能技术，创建基因型-表型-环境多维大数据驱动的育种预测算法，筛选最具开发潜力的组合组配进行田间试验，从而大大缩短育种周期，提高了育种效率。此外，基于基因型-表型-环境多维大数据，拜耳借助机器学习和预测建模技术，快速为种植者提供数字化的高产、高质、高效解决方案。

三是新一代转化技术和种子培育技术应用于培育应对全球气候变化和复杂环境条件并用于生物能源与饲料的作物品种等方面。2011 年比尔及梅琳达·盖茨基金会资助开展扩大共生结瘤固氮范围，人工构建非豆科作物结瘤固氮体系的探索性研究工作，研究目标是实现非豆科 C4 作物玉米结瘤固氮，并应用于常年受干旱胁迫的非洲。作物方面，全球农业种业技术迭代加速，以玉米和大豆为主的合成生物技术产品已经在全球大规模应用（如美国、巴西、阿根廷、加拿大、印度）。现在的转基因品种逐渐向优质高产等复合性状转变，以复合性状为主的品种快速增多。

四是随着基因组化学合成成本不断下降，合成基因组对象已经

逐渐升级。合成基因组对象已从噬菌体、支原体等原核生物逐渐发展到酵母等真核生物，人工生物合成青蒿素、紫杉醇等植物源活性物质，人工生物合成新分子化学品、人造牛肉和人造牛奶等技术及其产业化不断取得新突破。美国 Modern Meadow、Mosa Meat 等公司以及以色列 Aleph 公司已成功从活体动物身上提取细胞，然后运用合成生物技术在培养基上进行增殖，自然“生长”出一块色香味俱佳的人造肉。美国乳制品生产公司 Muufri 的科学家利用合成生物技术改造酵母，复制牛奶的口味并最终制造出人工牛奶。

(二) 国内生物制药等领域生物设计与制造发展初具产业突破基础

一是从算力上看，中国计算机的算力水平已经达到世界一流水平。中国有 6 个国家超级计算中心，分别位于无锡、天津、济南、深圳、长沙和广州，其中国家超级计算无锡中心的超算“神威·太湖之光”在 2016 年就已经达到了每秒 12.54 亿亿次的算力，成为全球最快的超级计算机，2023 年在全球超级计算 500 强排名中依然位列第七，为中国生物医药、金融分析、信息安全等领域提供计算和技术支持。

二是从算法上看，各类机器学习算法的不断迭代优化。算法是人工智能的核心，通过摸索药物与疾病、疾病与基因之间的隐秘关系，构建强大的底层计算架构，并在不断试错与应用之间进一步完善，最终让算法越来越贴近真实的人类逻辑。

三是从数据上看，人类生物医学研究积累了巨量医学数据。数据主要包括基因组学、转录组学、蛋白质组学、代谢组学、小分子数据等。这些数据有的来自公开的海量医学文献，有的来自药企/CRO（临床研究机构）自主研发积累的数据库。而伴随人

类观测手段的丰富，能够获得的生物指标数据也在变多，未来将会有更多、更大体量的多组学数据产出。

国内涉足 ITBT 药物研发的 14 家典型企业中，有 8 家不仅自主拥有 ITBT 技术能力，而且还基于该能力自主搭建起了独立的临床新药管线，分别是宇道生物、冰洲石生物、未知君、亿药科技、智药科技、星亢原、星药科技和索智生物。另外 6 家企业晶泰科技、哲源科技、深度智耀、望石智慧、百图生科、剂泰科技更侧重提供药物研发服务，这类公司更注重结合自身在 AI 领域的专长与药企合作，共同搭建/推进管线进程。2018 年，罗氏制药以 19 亿美元收购肿瘤大数据公司 Flatiron Health，为其提供研发所需的数据与技术支持，加速新药上市。2019 年，江苏豪森与美国 AI 制药公司 Atomwise 达成合作，双方合作设计并发现涉及多个治疗领域的 11 种未公开靶蛋白的潜在候选药物。

三、我国农业领域生物智能设计与制造存在的主要问题

在生物育种已经进入了“BT+IT”的智能设计时代的今天，发达国家种业公司基本处于育种 3.0 阶段，大型跨国种业公司已经进入育种 4.0 时代，而我国还正处于从 2.0 杂交育种向 3.0 分子育种迈进阶段，与跨国公司存在代际差。我国农业信息资源极其丰富，但生物信息资源建设、数字基础设施建设等方面与发达国家存在较大差距，农业生物信息和生物技术融合体系尚未建立，开放协同的科研创新不够。农业生物智能设计与制造领域的创新水平仍然严重滞后，理论基础薄弱、重大产品和系统缺失，与国际先进水平存在代际差距，亟待赶超。

（一）生物大数据创制和管理有待加强

NCBI（美国生物技术信息中心）、EBI（欧洲生物信息学研究

所) 等生物数据库掌控了全球主要生物数据和文献资源, 引领着全球生物信息和生物技术领域的研发。我国多数生物大数据存储在美国 NCBI 等数据库中, 目前尚未建成完全可替代的大数据平台, 如果出现网络中断或限速情况, 将直接影响我国农业生物领域信息和生物技术的研发, 对发展生物产业带来极大影响。

(二) 生物智能算法和模型开发创新性不足

目前, 我国 90% 以上的生物信息软件、统计软件和专业学科软件依赖国外, 尤其是农业领域的全基因组选择、智能育种等核心算法和模型。基因编辑、合成生物、基因叠加等技术原创不足, 生物技术核心专利 70% 为美国所有。我国尚未形成“BT+IT”融合驱动的智能设计技术体系, 在作物、微生物等生物农业领域应用程度较低。

(三) 智能设计和制造一体化平台统筹不足

大技术平台和大科学装置是世界科技强国技术水平、创新能力和综合实力的集中体现, 近年来, 我国生物农业科技研发平台快速发展, 但与发达国家相比, 系统布局、体量大小、集成创新等方面仍存在较大差距。一是智能设计研发平台布局相对分散。各平台资源分散、标准不一致, 缺乏有效汇聚、统筹调配的途径和手段, 平台之间未能积极主动地对应创新链开展联合工作; 二是智能设计集成度和创新度不够。以大数据为基础的新型知识基础设施存在适应数据快速增长和多源异构数据融汇治理并行计算需求问题, 亟待围绕科技发展新形势和新趋势, 强化条件平台的基础支撑与条件保障, 保障科技创新基础资源需求的供给; 三是缺乏国家级农业领域生物智能设计和制造创新平台。比肩世界水平的顶级设施平台的数量明显不足, 智能设计重大科技设施等战

略性平台缺乏，不能满足科技创新需求。

（四）生物智能设计和制造产业化应用不够

欧美国家不断加大研发投入，主要头部企业也依靠其在生物技术和信息技术的领先优势，加速推进生物信息技术创新和产品创制。我国在农业信息技术驱动的合成蛋白、淀粉等方面取得系列进展，但在产业化应用方面进展较慢。当前我国多数农产品相关企业存在着规模小、创新能力弱、高水平人才少和竞争力不强等问题，亟待培育更多大而强的领军企业。

四、相关建议

通过前沿生物技术、信息技术与人工智能融合驱动的农业领域生物智能设计与制造变革传统农产品生产方式，已成为美国、欧盟等发达国家和地区布局现代产业的国家战略。发展农业领域生物智能设计与制造，保障粮食安全和重要农产品稳定安全供给，是践行大食物观、建设农业强国的战略举措。

（一）攻克关键核心技术，构建生物智能设计与制造底盘

以现代农业转型升级的国家战略需求为导向，以高效多途径制造现代农产品为核心，着力阐释生物元件功能与进化、基因线路设计、人工合成途径与底盘细胞适配模式等重大科学和技术问题。以国家战略需求和产业急需问题为牵引，开展有组织基础理论研究和关键技术研发；从生物育种发展全局角度，加快重大基因挖掘和育种技术创新；组建多学科交叉创新团队，推进国内外协同攻关。

（二）部署农业领域专项，建立相关平台及长期支持机制

在国家科技计划中，持续支持农业领域的生物信息学和生物技术交叉融合研发，重点围绕技术研发、算法开发和场景应用等

方面予以支持，建立一体化、标准化、智能化的农业生物设计与制造技术体系。设立专项经费支持我国数据平台建设，聚焦生物育种、农用蛋白等核心需求，合理规划，加快国产化步伐，逐步构建我国自主可控的研发生态。

（三）加强交叉学科人才培养，构建农业领域 ITBT 融合创新体系

针对交叉学科人才需求，推动信息技术类专业开设智能设计方向，合理增加招生指标，向农业等行业领域倾斜，引导更多具有信息技术背景的人才进入农业生物育种等领域，推动学科发展，培育智能设计与制造领域青年人才，推进我国生物信息相关数据标准和规范的制定，打造强有力的国际领先的科研团体。

（四）拓展未来产业发展方向，加强数字化和智能化应用

农业领域生物智能设计与制造不仅是科学技术问题，也是满足市场需求的经济创新行为。既要尊重科技创新的内在规律，夯实科学基础、谋求技术突破，也要充分尊重经济规律。加大种业体制机制创新，高度重视知识产权保护，充分保障各类创新主体的合法权益，推进科研单位和企业合作，强化企业科技创新主体地位，培育农业生物智能设计龙头企业，把事关国计民生的农业领域生物智能设计与制造产业做大做强。

供稿人：姚 斌 梅旭荣 李新海 罗会颖 谷晓峰 王秀东

单 位：中国农业科学院北京畜牧兽医研究所 中国农业科学院
农业环境与可持续发展研究所 中国农业科学院生物技术
研究所 中国农业科学院农业经济与发展研究所

(欢迎引用、摘编、全文刊载，请注明出处，尊重著作者知识产权。)

责任编辑：梅旭荣

联系电话：82109416

电子信箱：icads@caas.cn

通讯地址：北京市海淀区中关村南大街12号

中国农业科学院战略研究中心

邮 编：100081

本期印数：150份

中国农业科学院战略研究中心 印发