

有序推进生物育种产业化应用

智库圆桌
(第29期·总79期)

种子是农业的“芯片”，种业技术的进步，是农业发展的基础，也是保障14亿人粮食安全的重要前提。《“十四五”推进农业农村现代化规划》提出，加快实施农业生物育种重大科技项目，有序推进生物育种产业化应用。国家发展改革委印发的《“十四五”生物经济发展规划》中也将现代种业提升工程列为生物经济七大工程之一。本期邀请几位专家围绕生物育种进行研讨。

主持人

经济日报社理论部主任、研究员 徐向梅

保障“中国粮”主要用“中国种”

主持人：我国生物育种发展现状如何？存在哪些优势与不足？

姚颖垠(中国农业大学农学院教授)：粮食安全是“国之大事”，培育优良品种是保障国家粮食安全的根本途径。国际上将育种发展分为4个典型阶段：育种1.0时代人类驯化了大量野生植物进入农耕文明；育种2.0时代育种家主要依赖经验并把统计学、数量遗传学和杂交育种策略应用到优良品种选育中；育种3.0时代先进的生物技术包括分子标记辅助选择、基因工程在育种中广泛应用；随着人工智能、基因编辑、合成生物学等学科发展，育种进入由前沿科学技术引领的“生物技术+信息技术+人工智能”育种4.0时代。

传统常规育种大多依赖育种家经验，育种效率低、精准度差、育种周期长。生物育种基于遗传学、分子生物学、基因组学、计算生物学和系统生物学理论，依赖先进生物技术，与生命科学基础研究密不可分，将成为支撑未来现代种业长足发展的决定力量。

党的十八大以来，我国种业发展取得巨大成就。全国审定的主要农作物品种数目显著增加，主要粮食作物良种覆盖率超过96%，品种对单产贡献率提高到45%，为保障我国粮食安全和重要农产品稳定供给发挥重要作用。种业跨越式发展背后的巨大支撑力量是种业科技创新，尤其是依赖先进生物技术的生物育种得到飞速发展。

生物育种领域基础研究不断创新和突破。我国收集保存了丰富的作物地方品种、野生种和野生近缘种，目前保存超过52万份农作物种质资源，数量跃居世界第二，这些资源是开展生物育种基础研究、重要基因挖掘、优良品种培育的重要材料和宝贵财富。利用这些资源，我国科学家从基因组学、遗传学、分子生物学等层面围绕国际前沿科学问题开展大量创新性、系统性研究，取得突破性进展。在国际上率先构建水稻全基因组序列框架图，克隆了一批调控株型、氮高效利用、耐低温、抗旱、耐盐碱、抗病、新型抗除草剂等具有重大育种价值的新基因，并在育种中逐步加以利用。山东农业大学孔令让教授团队、南京农业大学马正强教授团队克隆了小麦抗赤霉病关键基因，为攻克小麦赤霉病提供重要基因资源。

先进生物育种技术持续迭代升级，正在成为推动我国现代种业跨越式发展的强大驱动力。分子设计育种、基因编辑、单倍体育种、转基因技术、生物工程等技术不断创新并取得颠覆性突破，这些技术在农作物育种中逐步应用，显著提高育种效率。中国农业科学院深圳农业基因组研究所黄三文团队应用“基因组设计”理论和方法体系培育杂交马铃薯，用二倍体替代四倍体，用杂交种子繁殖替代薯块繁殖，有望颠覆创新马铃薯产业生产方式。中国科学院遗传与发育生物学研究所李家洋院士团队提出快速从头驯化的新策略，通过基因组设计和基因编辑将多倍体野生水稻快速驯化成农艺性状优良的新型多倍体水稻，大幅提升产量和环境变化适应性，为从驯化其他野生和半野生植物创制新型作物提供重要参考，开辟了培育高产广适新型作物的新途径。

利用先进生物育种技术与常规育种相结合，培育和推广了一批突破性优良品种，保障“中国粮”主要用“中国种”。新中国成立以来，主要农作物育种已实现5至6次新品种更新换代，“十三五”期间审定主要农作物品种1.68万个，比“十二五”期间增加一倍多。近年来，在精品优质水稻、高产优质小麦、高产机收玉米等农作物新品种方面取得突破性进展。坚持“形态改良与杂种优势利用相结合”育种理念，杂交水稻品种产量潜力不断提升，以晶两优华占、晶两优534、隆两优华占等为代表的超高产杂交水稻，在大规模推广过程中对农民增收和国家粮食安全作出突出贡献。水稻分子模块设计育种技术方面的研究引领国际育种发展方向，李家洋院士团队运用分子设计育种技术，将控制粒型、抗稻瘟病、优异稻米品质、抗倒伏等分子模块进行耦合，经过精准定向设计培育出标志性水稻品种“中科804”。

我国种业企业研发投入持续加大，竞争力显著提升。国家级“种业航母”各系统初步形成规模，生物种业规模和整体竞争力明显提升。我国农作物和畜禽种业市场接近6000亿元，成为全球最大种业市场。据《2021年中国农作物种业发展报告》统计，2020年我国有种子企业6118家，资产总额2425.21亿元，资产总额1亿元以上的432家，其中10亿元以上企业27家，实现种子销售收入777.10亿元，利润69.57亿元。

69.57亿元。过去几年，以先正达、隆平高科等为代表的中国种子企业，在国际种业市场上崭露头角，影响力与日俱增，隆平高科于2017年跻身全球种业前10强，通过内生增长和外延并购双轮驱动，已初具中国种业航母雏形。

我国生物种业科技不断创新，科技基础和科研力量日益雄厚，但也存在一些问题。

一是生物育种重大原创性基础理论研究不够深入，独立原创探索性研究较少，尤其是有重大育种利用价值的关键基因和分子模块匮乏。

二是与国际种业科技创新水平相比，我国生物育种关键技术原始创新落后，核心环节技术掌握不够，研究力量分散，还没有形成合力。

三是种业企业科技研发投入不足，前50强的种业企业年研发投入约13亿元人民币，远不及美国孟山都、德国拜耳公司一个公司同期投入规模。

四是具有自主知识产权的转基因生物育种、基因编辑育种等相关成果产业化亟待突破，随着国家对转基因生物育种产业化应用政策逐渐放开，生物育种产业化将迎来重大利好。国际生物育种产业市场已经向少数大企业集中，规模化、集团化和全球化成为生物育种发展大趋势。我们要抓住机遇，建立贯穿基础研究、技术攻关、产品创制、示范推广等全产业链成套创新体系，快速推进生物育种产业化，实现生物种业跨越式发展。

主持人：如何加强生物育种与信息技术结合，加快智慧育种？

钱前(中国科学院院士、中国科学院作物科学研究所所长)：目前，全球种业发展进入空前密集创新和产业变革时期，作物育种正迎来以基因编辑、新一代测序等新型生物技术，与图像识别、机器学习等信息技术融合的“生物技术+人工智能+大数据”智能化时代。智慧育种是科技发展带来的新机遇，预计在未来10年至20年，智慧育种发展快慢势必成为种业核心价值和竞争力的关键，由传统育种到分子育种再到智慧育种，育种的“科学”成分含量越来越多，“艺术”成分含量越来越少。生物技术与信息技术结合，推动育种向精准化、高效化和规模化方向发展。我国种业面临跨国公司垄断、产业对外依存度高的局面，给作物育种带来新的挑战，育种科技亟需革命性改变。

加大基础性平台研发力度，构建生物技术和信息技术基础信息采集平台，驱动产业发展。随着基因编辑、合成生物等前沿生物技术兴起，美国等发达国家和跨国种业公司不断加强高通量、大型化、规模化、自动化科技基础设施建设，加快农业生物技术创新。欧美等发达国家和地区相继建立高通量作物表型平台等重大科技基础设施，加快作物基因设计育种步伐。麻省理工学院、国际水稻研究所等研究机构建立了作物基因编辑、全基因组选择、合成生物等分子设计育种相关平台，专注理论基础和应用基础研究。我国也应围绕生物育种前沿技术和重点领域部署一批具有国际一流水平的科技信息服务平台，为基础性、前沿性和引领性核心技术攻关提供平台支撑。

强化科学育种底盘技术创新，布局基因编辑和人工智能等前沿引领技术攻关。机器学习方法是人工智能的核心，农作物全基因组选择技术必将融入机器学习方法等人工智能核心技术，即通过基因型和表型等数据自动化获取与解析，实现大数据快速积累，通过构建多维度信息之间的数量遗传模型，开展植物性状

智慧育种将成种业核心

调控基因型精准预测，实现育种方案智能化设计。同时整合全基因组选择和基因编辑、转基因技术等前沿高新技术，持续推动传统育种技术改造升级，向精准化、高效化和规模化发展。

搭建精准鉴定种质资源共享数据库，培育优势种质资源群和多元化化底质种质资源。种质资源不仅是保障国家粮食安全与重要农产品供给的战略性资源，更是农业科技原始创新与现代种业发展的物质基础。依靠海量存储和高性能计算技术，建设数字化种质资源库，将海量种子基因数字化，才能为人工智能育种打下基础。在高通量测序的大数据背景下，国际上对主要作物的基因组数据已经有相对完备的数据库系统，智慧育种的任务之一是基于种质资源信息建立作物育种数据提取、挖掘、存储、分析、共享数据库，整合多组学数据开展联合分析，突破生物大数据获取、分析、挖掘等底层支撑技术，建立“数据—技术—算法—决策”一体化智慧育种策略，提升育种精准度，缩短育种周期，建立高效作物智慧育种体系。

建立以目标为导向的科企协同攻关团队，促进智慧育种在实际育种中发挥作用。一方面，与跨国公司相比，我们目前以课题组为单位、上中下游分离的研发体系缺乏大群体选育等条件。另一方面，我国种业行业市场集中度低、科技创新能力不足、科研投入少、投入效率低，与跨国公司相比，在单独一个企业内部实施全链条智慧育种可能性不大。因此，使研发链和产业链有机融合，集聚科研院所和种业企业优势，实施以目标为导向的科企合作科研攻关模式势在必行。

2021年6月，中国农业科学院作物科学研究所与阿里巴巴达成合作，共同推动建立生物技术(BT)、信息技术(IT)与智能技术(AT)深度融合的“智慧育种”平台，为加快培育作物新品种提供重要技术支撑。形象地说，智慧育种公共服务平台像一个“中央厨房”，育种专家就是“厨师”，通过挑选“食材”和“配料”，根据作物基因型、表型、栽培措施、气候环境数据和育种过程中相关图像数据的查询和联合分析，模拟“烹饪”出他们想要的“菜肴”。该合作依托中国农业科学院作物科学研究所农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程等设施，借助阿里巴巴在大数据处理、存储和分析等方面的优势，构建覆盖作物种全链条、智能化“智慧育种公共服务平台”，为国内育种专家提供公益、普惠的研究支撑服务，实现作物育种全流程数字化管理，提高作物育种信息化水平和育种效率，为绿色、优质、高效等突破性品种选育提供强有力支撑。

《2021年中国农作物种业发展报告》统计显示



“十三五”期间 全国审定主要农作物品种



生物技术引领种业颠覆式创新

主持人：请分享企业在生物育种产业方面的探索实践和成功经验。

吕玉平[粮油作物生物育种“芯片”研发专家、隆平生物技术(海南)有限公司总经理]：打赢种业翻身仗需要兼顾研发和产业化，特别是要有市场竞争力的产品。基于这个理念，隆平生物技术(海南)有限公司于2019年成立，开始进行主要粮油作物生物育种关键“芯片”技术研发。

从国际种业发展规律和趋势看，国际一流种业研发正由分子育种3.0时代进入智能设计育种4.0时代。以转基因、基因编辑、分子标记为代表的生物育种技术正对种业产生颠覆性创新。国际种业巨头孟山都(2018年被拜耳以630亿美元收购)从上世纪80年代开始研发转基因技术，后通过技术引领和持续并购扩张，累计并购350家不同类型种子企业，由一家化学品公司一跃成为国际种业巨头并始终保持领先地位。

纵观孟山都的发展史，生物技术是最核心的成功要素。当前，种业转基因商业化大幕即将开启，以转基因为代表的生物技术将为我国种业带来根本性变化。孟山都30多年依托转基因生物技术的种业商业化之路为我国种业提供了有益借鉴。

生物技术具有技术壁垒高、研发投入大、开发周期长等特点，因此研发难度比较大。隆平生物从事的是粮食作物玉米、大豆种子精准育种和性状改良的研发，其中抗虫抗除草剂转基因“芯片”技术是目前我国种业的“卡脖子”环节。2021年我国进口玉米近3000万吨，如果按平均单产不足500公斤计算，需要6000多万亩土地。而大豆进口更多，近1亿吨，业内专家表示，若生产这个体量的大豆需要7.9亿亩耕地。参考人多地少、耕地资源稀缺的现状，依靠扩大种植面积达到供给是一件不可能的事。玉米虽然已不作为主粮供百姓食用，但却关乎所有百姓的饭碗。玉米号称“饲料之王”，我国玉米60%用于饲料，40%用于工业。而在饲料中，玉米占比达到60%，是养殖业重要的能量饲料原料。如果饲料不够将直接影响猪、鸡等养殖业产量和产品价格。虽然我国是玉米生产大国，但是平均亩产只相当于美国的50%至60%，还需要大量进口。提高玉米自给率，必须依靠提高亩产，其中最重要的是发挥良种作用。通过生物技术培育高产、优质、多抗品种是必由之路。

我国生物育种产业化研究只有10多年，而美国已有50多年。目前的主流技术是将1个基因或2个基因放到一个

载体上再进行转化。而隆平生物在007生物育种“芯片”技术立项并进行产品设计时，就定位在“人无我有、人有我优”的高起点上，颠覆式创新、大跨度的差异化才能有突破、有市场、有后发优势。在玉米产品研发方面，隆平007“芯片”含有3个抗虫基因和1个抗除草剂基因，市场前景广阔。改良品种能够有效抵抗近10种害虫，玉米产量提高15%以上。在玉米生长过程中，基本不用农药，农民每亩地至少增收200元。凭借国际领先水平的玉米生物育种技术，短短3年多时间，这支具备很强科研能力的团队，成为海南玉米生物技术研发和产业化的强劲助力，对打造国家重点产业园区——崖州科技城“生物种业南繁硅谷”有示范效应。目前已研发出多个

抗性优良产品，获得10余项国家发明专利授权。

当前海南省崖州湾种子实验室建设进展顺利，将成为我国生物育种研发新高地。隆平生物将继续以生物技术引领种业核心技术创新，以市场化产品研发拉动种业产业链升级，走出一条有中国特色的生物种业创新发展之路。

本版编辑 裴文美 编高妍 来稿邮箱 jrbjzk@163.com