

农业强国目标下作物育种科技与装备创新: 态势、挑战与路径

范贝贝, 李瑾*, 冯献

北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京 100097

摘要 剖析了实现农业强国目标对育种科技与装备创新发展的现实需求, 分析了作物育种科技与装备发展的成效与趋势。当前中国作物育种科技与装备创新水平已步入跟跑、并跑和领跑并存的新阶段。但是锚定农业强国目标, 中国作物育种科技与装备发展距实现种业科技自立自强、种源自主可控, 赋能粮食和重要农产品保障能力稳步提升还有较大差距, 在种质资源保护与利用、生物育种基础研究、前沿育种核心技术研发、先进适用的育种装备研制、种业企业自主创新等方面均存在短板弱项。提出应从加快构建中国式新型育种创新体系、推动种质资源开放共享和保护利用、攻克育种关键核心技术、加强育种装备研发与应用创新、开展育种创新政策试验等5个维度, 全方位推动育种科技与装备创新发展, 切实筑牢农业强国建设的根基。

关键词 农业强国; 作物育种; 科技创新; 育种装备; 粮食安全

党的二十大报告明确提出要“加快建设农业强国”。2022年中央农村工作会议强调了建设农业强国的核心利器在于科技创新, 加快以种业为重点的科技创新是农业农村现代化发展的首要驱动力。2023年3月, 习近平总书记在《求是》杂志发表的《加快建设农业强国 推进农业农村现代化》一文深刻阐释了加快建设农业强国的背景、意义和核心任

务, 提出了“抓种子要选准突破口, 持续发力、协同攻关, 把种业振兴行动切实抓出成效, 把当家品种牢牢攥在自己手里”, 突出了育种科技与装备创新在保障粮食和重要农产品稳定安全供给、建设农业强国中的重要战略地位。农业强国目标的核心要义是能够依靠自身力量端牢饭碗, 实现粮食等主要农产品供给保障安全可靠, 而种业科技自立自强、

收稿日期: 2023-06-25; 修回日期: 2023-08-17

基金项目: 国家社会科学基金项目(22FJYB029); 北京市产业经济与政策创新团队项目(BAIC11-2023); 北京市农林科学院乡村振兴研究中心项目(KJCX201913)

作者简介: 范贝贝, 博士后, 研究方向为种业数字化, 电子信箱: fanbeibei2013@163.com; 李瑾(通信作者), 研究员, 研究方向为农业农村信息化, 电子信箱: lij@nercita.org.cn

引用格式: 范贝贝, 李瑾, 冯献. 农业强国目标下作物育种科技与装备创新: 态势、挑战与路径[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 23-31; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.16.002

种源自主可控是保障粮食和重要农产品稳定安全供给的根基。当前国际格局和国际体系正在发生深刻调整,世界正在经历百年未有之大变局,地缘政治、多边贸易等不确定性外部风险不断增加,以信息技术为代表的新一轮科技革命和产业变革正在重构全球科技创新版图,围绕科技创新制高点的竞争也空前激烈。

新中国成立以来,中国种业发展实现了从无到有、从小到大、从弱到强的历史性跨越,尤其是党的十九大以来,党中央、国务院作出“打一场种业翻身仗”的战略决策部署,开启了种业振兴由研究谋划为主转向全面实施的新阶段。在一系列有力举措的推动下,突破了一系列重要科学问题和关键技术,部分研究领域已处于世界引领地位,实现了从基础研究到应用研究的全链条创新,主要农作物良种基本实现全覆盖,自主选育品种面积占95%以上,实现了“中国粮主要用中国种”,从源头上基本保障了国家粮食安全。但是面对农业强国目标要求和新一轮科技创新浪潮的激烈竞争,中国育种科技与装备创新发展还较为滞后,既存在不能“自立”的问题,也存在“自立”却不能“自强”的问题,育种前沿技术及装备与国际领先水平仍存在一定差距,基础研究薄弱、原创性创新能力不强的局面尚未实现根本性转变。强化育种科技与装备创新发展,突破“卡脖子”关键核心技术,占领世界育种创新研究高地,持续提升种业自主创新能力,走高水平种业科技自立自强之路,是“十四五”时期至2035年中国筑牢粮食安全基石、建设农业强国的必然选择。

随着种业振兴行动的深入实施,作物育种科技与装备创新的相关问题正逐渐成为学者们关注的热点问题,重点围绕着世界前沿技术发展态势、国际育种发展先进经验、种业科技自立自强面临的“卡点”与“堵点”等问题展开了相关研究。转基因技术、基因编辑技术、全基因组选择技术等新育种技术正在蓬勃发展^[1],已经成为国际生物技术育种研究的核心与前沿,中国的转基因技术和基因编辑技术已经达到国际领先水平,全基因组选择育种技术仍处于起步阶段^[2]。美国、德国、日本等种业强国均十分注重综合发挥政府和市场的双重作用,建立

政府、企业和社会组织相互协调的育种创新体系,并致力于挖掘国内外优质种质资源^[3]。种质资源流失严重与种质资源研究薄弱、农作物核心技术研发水平较低^[4]、农作物育种科技创新体系不健全、种企业缺乏核心竞争力、种知识产权保护滞后等问题是中国种业科技自立自强面临的重要“卡点”^[5],并将加强农作物种质资源保护体系建设、构建全产业链育种创新体系、健全种业市场保障机制等措施作为破解问题之道^[6]。纵观已有文献,可以发现国内学者对育种科技与装备创新技术前沿、国内外发展态势和主要面临的薄弱问题已经展开了深入探讨。但是,多数是从种业产业发展、核心技术研发国际差异比较和种业创新全链条的短板分析等视角开展,从农业强国目标角度出发,针对性、系统性地对中国作物育种科技与装备发展的研究较为缺乏。因此,本文在阐释农业强国目标对育种科技与装备创新发展的根本需求基础上,分析当前中国作物育种科技与装备发展现状与态势,研判农业强国目标下中国作物育种科技与装备发展面临的主要问题与挑战,并以此提出化解难题的发展路径。

1 中国作物育种科技与装备发展现状与态势分析

1.1 主要农作物种质资源鉴定与优异种质挖掘进入精准化、深度化和高效化阶段

优异种质资源是培育优良品种的关键前提,更是支撑农业科技原始创新和现代种业发展的物质基础。早在“七五”期间,中国就将作物种质资源收集与保存列入了国家科技攻关项目,并从此逐步开始了种质资源收集、整理与保存工作,截至2022年底,中国已保存农作物种质资源54万份,数量居于世界第二位,仅次于美国,并对所保存的种质资源全部进行了抗病虫、抗逆和品质鉴定以及基本农艺与产量性状鉴定。自“十三五”起,在国家重点研发计划的支持下,稳步开展了作物种质资源的规模化、精准化表型与基因型鉴定,对约1.7万份水稻、小麦、玉米、大豆等主要农作物种质资源开展大规模多年多点的农艺性状及其他性状的时序性鉴定,

筛选出具有综合优异性状农作物种质近 1300 份, 鉴定出抗病、抗逆特异种质 1250 份, 创制了抗病虫、抗旱、优质、高产等育种新材料 3860 份, 有效解决了育种优异亲本匮乏、育种材料遗传基础狭窄、缺乏突破性种质的关键问题^[7], 并完成了水稻、小麦、棉花、油菜、黄瓜等多种农作物的全基因组草图和精细图谱的绘制。同时, 高效作物种质创新及其利用技术稳步发展, 以优异种质为依托, 一批符合农业生产及市场需求的新优品种选育成功并推向田间地头^[8]。以小麦-冰草创新种质为育种材料, 育成携带冰草属 P 基因组优异基因新种质, 其衍生系创新种质已应用到全国 100 多个育种单位, 已培育新品种 15 个、后备新品种 39 个; 利用玉米规模化导入选择和抗病抗旱穿梭改良技术, 开展类群间定向组配和目标性状定向选择, 创制出杂种优势类群明确、目标性状突出的新种质 46 份, 育成抗病抗旱高产新品种 22 个^[9]。

1.2 育种基础研究步入由“跟跑”转向“领跑”新格局

中国作物育种领域的基础研究取得了重大进展, 以生物组学为牵引, 在水稻、玉米、小麦等主要农作物优异种质形成和基因组演化规律、重要性状形成的遗传机理、多性状协同改良理论基础等领域的研究突破了系列科学理论问题, 为分子设计育种提供了路径。一是在水稻功能基因组学研究领域长期处于世界领先水平。克隆和定位了一批控制水稻产量、品质、抗逆性和非生物胁迫等重要育种价值的关键新基因, 如 *qhms7*“自私基因”^[10]、*IPA1* 关键多效基因^[11]、*OsDREB1C* 高产基因^[12]、*Pigm* 抗病基因^[13]、*OsRINGzf1* 抗旱基因^[14]、*OsTCP19* 氮高效基因^[15]等。深度开展了水稻多种重要农艺性状的分子调控网络解析, 如发现了 *OsLBD37/39-OsTCP19-DLT* 通路是决定水稻 N 响应及分蘖的关键, 阐释了氮肥利用效率与分蘖氮响应的密切关系; 揭示了一条全新的广谱免疫代谢调控网络 (*PIC1*-蛋氨酸-乙烯)^[16] 和 水稻钙离子感受器 *ROD1* 精细调控水稻免疫反应^[17], 为水稻的广谱持久抗瘟病提供了新的理论基础和技术支撑; 发现了水稻氮肥利用效率调控新机制 (*GA-GID1-NGR5*), 深化了对赤

霉素信号传导和植物氮素响应之间复杂的相互作用机制的理解^[18]。二是玉米、小麦作物功能基因组学研究逐步跨入世界前列, 大豆基因组研究领域取得了新突破。采用三代测序技术和三维基因组相结合, 从野生玉米中克隆了控制玉米高蛋白品质形成和氮素高效利用的关键变异基因 (*THP9*)^[19], 组装了涵盖黄早四、昌 7-2 等当前全球广泛使用的 12 个骨干自交系亲本的高质量基因组, 构建了温带玉米核心育种种质的自交系泛基因组, 并通过泛基因组、表达数量性状位点 (eQTL) 等手段解析了玉米的杂种优势机制, 为高产杂交玉米品种的选育奠定坚实的理论基础和基因资源^[20]; 从小麦近缘植物长穗偃麦草中成功克隆出了高效抗赤霉病基因 *Fhb7*^[21], 挖掘出全球首个被病菌毒性蛋白利用的小麦感病基因 *TaPsIPK1*, 系统揭示了 *PsSpg1-TaPsIPK1-TaCBF1d* 的磷酸化与转录调控级联途径介导的感病机制^[22], 打破了目前小麦主要利用抗病基因育种的传统思路; 首次成功克隆了大豆细胞核雄性不育基因 *ms1*^[23], 构建了大豆 *Glycine* 亚属基因组^[24], 促使中国大豆 *ms1* 雄性不育遗传机理的探索研究向前迈进了一大步, 为创制大豆高产优质新品种提供了有效的基因靶点。

1.3 生物育种关键核心技术与装备创新驶入“快车道”

当前, 先进的生物育种技术与装备持续迭代升级, 已经成为中国育种创新发展的核心源泉和主要驱动力, 逐步推动中国作物育种向高效化、精准化、定向化转变, 大大提高了育种效率, “十三五”期间, 中国七大农作物综合育种效率由 0.502 提升到 0.759, 提高了 51.11%^[25]。一是杂种优势利用、分子设计育种、单倍体育种、转基因、全基因组选择、基因编辑等育种关键技术均取得了系列突破性成果, 尤其是在分子设计育种技术和规模化转基因技术领域已经处于世界领先水平。构建了主要农作物规模化转基因技术体系, 粳稻转化效率从 20% 提高到 90%, 籼稻、小麦和大豆转化效率从 1% 分别提高到 30%、30% 和 8%, 有效解决了玉米、大豆、小麦等优良品种遗传转化的技术瓶颈^[26]; 建立了水稻分子设计育种技术体系, 通过分子设计育种技术, 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,培育了嘉优中科6号与中科发5号等标志性品种,成功实现了高产优质抗病抗倒伏等优良性状的高效聚合,为其他作物精准设计育种提供了新通路。二是表型观测设备、基因型检测设备、环境监测设备、田间繁育机械4类育种装备逐步向智能化、智慧化转型升级,例如,以北京市农林科学院信息技术研究中心、谷丰光电、华中农业大学等为代表的科研机构与企业自主研发了田间作物高通量表型检测与分析平台、作物3D根系高通量检测平台、智能化温室作物苗床表型平台、水稻/玉米数字化考种机等装备,实现了作物表型参数的全自动、无损、高通量准确获取;研发了小麦、水稻、玉米、棉花等农作物种子繁育、制种加工单机与成套设备,其中玉米种子规模化加工成套技术装备基本达到国际先进水平,形成了相对完善的技术体系,并得到了广泛应用。三是商业化育种软件研发与应用稳步推进,撬动作物育种由传统育种向商业育种,由“经验育种”向“精确育种”转变。中国已经自主研发了包括金种子育种云平台、百奥云、华智育种管家等10余款商业化育种软件,在隆平高科、垦丰种业、圣丰种业、登海种业等国家种业阵型企业中得到了应用,实现了常规育种全流程数字化、性状采集信息化、田间操作标准化和数据分析自动化。

2 农业强国目标下作物育种科技与装备创新面临的挑战

2.1 种质资源保护和精准鉴定与挖掘力度亟需加强

种质资源多样性、优质性以及性状鉴定信息的丰富性,直接决定着以此为基础改良创制新品种的效率和品质。虽然经过30余年的快速发展,中国作物种质资源的数量与品质得到显著增长和改善,但种质来源多元化和丰富性不足、种质资源精准鉴定和优异基因挖掘滞后,使中国作物育种创新面临基础材料的“卡点”,种质资源优势尚未转化为品种和产业优势。一是地方品种和主要作物野生近缘

种在种类数量和区域分布上消失风险加剧。随着工业化和城镇化进程不断加快、农业种植结构调整和生物技术的迅猛发展,地方品种和野生近缘种的生存环境面临着巨大挑战,大量地方品种和野生近缘植物资源逐渐消失。根据“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”统计结果,当前中国主要粮食作物地方品种数目丧失比例高达71.8%,作为亚洲栽培稻的近缘祖先种和水稻杂交育种工作中最为重要的材料,76%的普通野生稻群已经消失^[27]。二是作物种质资源多样性不足,育种群体遗传基础狭窄,选择空间有限。中国农作物种质资源76%以上来自国内,而美国的59万份作物种质资源78%来自海外^[6]。三是种质资源系统鉴定与优异基因资源深度挖掘较为滞后。对农作物种质资源库所保存的种质资源多数只局限于基本农艺性状的鉴定,仅对少部分特异资源进行了基因组测序与功能基因研究,整体开展基因型和表型精准鉴定的数量不足10%,同时,分区域、分作物表型精准鉴定基地和规模化基因发掘平台建设较为缺乏,导致原创性突破性新种质、新材料、新技术不足,优异种质和基因资源发掘严重滞后和开发利用缓慢。

2.2 生物育种基础研究原始创新能力亟待提高

具有自主知识产权的关键基础理论和原创可用基因创新,是构筑作物分子设计育种的基础理论和技术体系的前提。与美国等发达国家相比,中国作物生物育种基础研究综合水平依然较为滞后,与国际领先水平相差10年左右^[28],差距表现在生物育种基础理论方法创新能力不足、生物育种关键基因和分子模块研究匮乏,新基因和优异的育种材料发掘速度缓慢、缺乏有重大利用价值的基因等多个方面。一是生物育种基础研究相对滞后。虽然中国在作物生物育种基础研究方面的论文和专利总量已经超过了美国,但是高质量研究与高价值专利的存量差距依然明显。至2020年底,在生物育种基础研究领域的全球1713篇高引论文中,中国仅有403篇,而美国则为921篇,高价值核心专利仅占全球的5%左右^[2];二是重大实用性功能基因发掘力度不够。受研究起步晚、技术与设备基础配套滞后等因素的影响,中国作物基因发掘研究依旧存在

“三多三少”状况,即作物预测基因数目多,定位与克隆的基因少;水稻发掘的基因多,其他作物发掘的基因少;基因发掘数量多,重要应用价值的基因少,规模化基因定位挖掘仍停留在理论层面;三是作物重要性状的遗传基础研究有待深化。玉米、小麦等作物产量、品质、抗病、抗旱耐贫瘠等重要性状的遗传调控网络和种质资源演化规律解析仍不系统,重要性状形成的分子基础等重大科学问题亟待攻克。

2.3 前沿育种核心技术研发与应用短板亟待补齐

以基因编辑、人工智能等技术融合应用为标志,全基因组选择育种、转基因技术、基因编辑等为代表的生物育种技术已成为国际育种的前沿和核心,种业强国已经纷纷进入“常规育种+生物技术+信息技术+人工智能”的育种“4.0时代”。与之相比,中国前沿育种技术与应用总体上还存有一定差距,仍处于以杂交选育和分子技术辅助选育为主的育种“2.0”到“3.0”之间。一是前沿育种技术短板依然突出。目前全球90%的生物育种技术掌握在以美国为首的科技强国中,中国与世界种业强国育种技术存在代际差异。据统计,美国在生物技术领域的高价值核心专利是中国的30余倍,占全球的70%左右^[6],基因编辑技术的原始专利基本上被国外控制,全基因组选择技术、大数据技术的高价值专利仍处于空白,基因编辑底盘工具、合成生物元件、全基因组选择模型等核心技术受制于人;二是由于现代育种技术研发应用不足,导致现阶段中国品种水平与先进国家差距较大,大豆、玉米单产水平不到美国的60%^[29]。以玉米品种选育为例,由于种质资源匮乏、遗传基础狭窄,加上缺乏充足的资金、人才支撑,全基因组选择、基因编辑、智能设计育种等技术仍处于研发阶段,玉米分子育种技术和常规育种在实际应用中结合还不够紧密,对育种整体技术水平提升作用有限,具有籽粒脱水快、高产抗病抗逆、宜机收、耐密植等优良性状的优质玉米品种选育缺乏。

2.4 先进适用的育种装备研制步伐亟待加快

育种装备的机械化、自动化、智能化是提升育种效率的基础与保障。当前中国育种装备研制虽

然已具备一定基础,但是育种数据采集效率低下、关键核心零部件缺乏、繁育装备适用性较低等问题已经成为育种装备推广应用的主要短板。一是作物表型高通量获取设施装备、代谢组学观测设备、基因型检测设备、智能考种装备等装备应用不足,导致育种数据采集分析效率低下。以育种数据采集为例,由于缺乏高通量、高精度数据采集设施设备,导致表型、环境型数据普遍采用人工管理的方式,基因型数据采集还处于探索阶段,且存在基础工作不规范、缺乏完善的管理体系,群体谱系状况混乱等情况,制约了基因型-表型-环境型育种大数据的应用与发展,导致育种材料或组合难以实现快速查询和管理。二是有相当比例的育种装备核心部件依赖进口导致装备应用成本高。目前中国表型技术和表型设施建设主要依赖进口,还存在关键技术“黑盒子”、设施软硬件升级改造和服务、大型进口表型设施运营与维护、表型数据安全、多组学大数据育种应用与表型设备、自主研发的并行与融合等方面的问题。三是育种小区智能农机装备缺乏导致育种效率低下。目前,国内市场上尚缺乏针对育种小区的精准播种机械、精准施肥/药、智能收获测产等智能农机装备,导致小区作业效率比国外先进水平低数十倍。四是种子加工技术与装备支撑较弱。由于种业企业普遍存在资金缺口,对制种基地的建设和制种设备的更新滞后,种子检测分选设备和加工设施陈旧落后,选种、清洗、烘干、包衣、输送、包装等系列成套智能化种子加工设备缺乏,有的检测设备甚至已达10年以上,影响了种子生产加工的纯度。此外,晒场仓库等设施与实际种子生产量不匹配,也在一定程度上影响了种子产品的生产和存储。

2.5 种业企业自主创新能力亟待提升

当前中国种业领域的人才、资金、项目等创新资源大多向高校和科研院所倾斜,种业企业总体呈现“小、散、弱”状况,以企业为主体的育种创新体系尚未建立。一是种业企业规模小,竞争力较弱。目前,全球种业产业呈现“两超四强、差异发展”态势,高度集中的产业态势使得育种创新资源高度汇集在大型种业企业中,以种业龙头企业牵动创新链产

业链融合。而中国种业市场中,截至2020年末,全国纳入农作物种业统计的持有效种子生产经营许可证的企业数量有7372家,但销售收入超过2亿元的种业企业仅有49家,育繁推一体化企业的数量仅有100家左右^[30]。二是研发投入低,创新能力不足。国际上育成一个大品种需要投入1.4亿美元,其中拜耳集团2020年在作物科学研发投入总额就达到了41.4亿欧元,占销售额的10.4%。与之对比,2021年国内种子企业研发总投入仅为57.5亿元^[3],作为国内种业巨头的隆平高科研发投入仅为7.86%,A股上市种子企业荃银高科、农发种业仅为3.3%和1.42%(表1),部分中小企业研发投入一般占其营业收入的1%,甚至不及1%。同时,从种业企业角度来看,由于育种具有投资大、收效慢、风险高的特点,中小企业更愿意扮演销售“中间商”角色,通过购买品种来赚取种子繁育环节盈利,对于基础科学研究,尤其是功能基因的挖掘、全基因组选择、基因编辑技术的创新更无从谈起。据统计,中国80%的种子企业没有植物新品种权,拥有10个以上新品种权的企业仅占2.3%,仅有10%的品种开发是由种子企业完成。

表1 2021年部分种业企业研发投入及占比

上市企业	核心种业	研发收入/ 万元	研发投入 占比/%
隆平高科	水稻、玉米、蔬菜	27529	7.86
登海种业	玉米	6980	6.34
荃银高科	水稻、玉米、小麦	8328	3.30
农发种业	玉米、小麦、水稻	5399	1.42
敦煌种业	玉米	1943	2.11
新农开发	棉花	1305	1.90

资料来源:各公司年报。

3 农业强国目标下作物育种科技与装备创新发展路径

种业是建设农业强国的标志性、先导性工程和国家战略性、基础性核心产业,育种科技与装备创新更是科技驱动农业强国建设的核心关键任务。当前,以种业科技自立自强和种业振兴,撬动和支撑农业强国建设任务依然艰巨。要以新型生物育

种创新体系建设和种业科技创新政策强化为支撑,以种质资源开放共享与保护利用、育种基础研究创新能力提升、前沿生物育种核心技术研发、先进适用育种装备研制等为核心任务,加快突破种质资源保护与挖掘、生物育种基础研究原创能力不足、前沿核心技术与装备缺乏和育种创新体系尚不完善等诸多问题,锚定建设农业强国目标,推进种业振兴,确保农业安全,夯实农业强国建设基础。

3.1 加快构建新型育种创新体系

要充分考虑农业强国对种业科技创新的基本要求和短板挑战,构建科技自立、统筹协调、高质高效的新型育种创新体系。一是制定面向农业强国目标的育种创新发展战略规划,统筹国家农业生物育种领域战略科技力量,充分发挥优势区域创新力量作用,强化创新链、产业链、资金链与人才链深度融合,有效统筹基础研究、应用基础研究、技术创新、成果转化,优化配置创新资源;二是加快构建企业主体、专业化分工、产学研协同、全国布局的商业化育种创新体系,深入推进科企合作,探索中国式“基础研究、前沿技术、产品创制”上中下游育种科技创新体制,把品种培育能力逐步向企业转移,激发企业原始创新活力,形成全国一条龙创新体系,为种业振兴注入强大力量;三是搭建多元化育种创新公共科研平台,重点推动育种领域的国家重点实验室或工程技术研究中心、区域性生物育种中心建设,并鼓励种企与高校及科研院所共建育种科技与装备研发共享平台。

3.2 加快推动种质资源开放共享和保护利用

一是要在全国范围内构建开放协作、共享应用的种质资源收集保存利用体系,拓宽境外资源引进渠道,研究出台种质资源共享利用管理办法,促进农作物种质资源保护与利用体系的工作制度化与数据标准化,采用多种方式对地方品种、野生近缘植物、育成品种、创新种质等种质资源进行保护和保存;二是深化推动国家作物种质库2.0项目建设,综合运用物联网、人工智能、分子检测等技术,搭建种质资源共享与服务平台,支持构建高通量、智能化、多维度的资源表型与基因型精准鉴定技术服务体系,促进资源交互和信息共享,为攻克种质资源

精准鉴定和基因挖掘关键技术,将种质资源优势转化为育种创新优势提供支撑;三是加快构建开放协作、共享应用的种质资源精准鉴定评价机制,搭建一批国家资源精准鉴定和基因挖掘平台,推动主要农作物表型和基因型规模化精准鉴定,重点开展高产优质、抗逆抗病等优异性状挖掘。

3.3 瞄准生物育种科技制高点攻克一批关键核心技术

在保持水稻、棉花等品种技术创新的竞争优势基础上,依托国家重大专项、重点研发计划、国家良种重大科研联合攻关、国家现代农业产业技术体系、中国农科院科技创新工程等科技创新平台,开展生物育种基础研究和前沿育种核心技术攻关,降低玉米、大豆、蔬菜等优质种源的对外依存度,缩小与国外先进国家育种技术水平的差距。一是重点开展主要农作物关键性状形成与演化规律和遗传调控机理研究,综合运用多重组学、系统生物学和合成生物学等手段,解析高产、稳产、优质、高效等复杂性状的调控因子与分子网络,研究基因组变异、表型变异规律及其应对环境变异的机制。二是鉴于实验室研究和生产实践中的数据一直处于彼此脱节的状态,对已有数据、知识和模型的应用与挖掘的有效工具较为缺乏,需要将数据科学和信息技术应用用于育种研究中,以便更迅速地进行数据收集、分析、存储、共享,提升集成和分析异构数据的能力,同时将基因组信息、先进育种技术和精确育种方法纳入常规育种和选择计划,以精确、快速地改善对作物生产力和品质有重要影响的生物性状。三是支持鼓励国家种业阵型企业承担国家育种重大科技任务,并与科研单位、金融机构、育种基地紧密对接,实现优势互补,按照市场化、产业化育种模式,聚焦多组学、基因编辑技术、全基因组选育、智能设计育种等基础理论与关键技术,开展原创性引领性技术攻关,创建基因型-表型-环境多维大数据驱动的精准育种方案,不断提升中国育种科技创新能力,推动中国种业向“4.0”时代跨越。

3.4 加强育种装备研发与应用创新,建设一批数字化制种基地

一是针对表型组信息采集手段落后、数据不精

准问题,研制一批具有自主知识产权的多生境-高通量-高效率-高精度的作物表型观测设备,以及轨道式、自走式、便携式田间表型观测设备,形成工厂化-智能化的作物表型大数据获取能力,对作物表型参数开展全自动高通量解析,增强中国在复杂环境下作物表型平台与装备创制方面的自主创新能力和国际竞争力,提升作物表型测量的效率和准确度。二是重点突破小区育种、制(繁)种以及种子加工过程的低损、高效、精准生产等关键技术,研制一批作物性状的智能考种装备、小区精量播种机、智能收获测产机械、果穗种子清选加工流水线等智能装备,推动自动化、智能化技术与大型小区育种和加工机械深度融合,提升育种机械装备与种子繁育制种等农艺要求的融合度;三是针对制繁种效率不高问题,率先在国家级制种基地、扩繁基地建设一批国家级数字制(繁)种基地,先行示范推广一批适用性智能育种机械,建立繁制种基地数字化信息管理平台,不断提升制繁种效率。

3.5 围绕产学研协同创新,开展育种创新政策试验

一是营造更加利于发挥企业创新主体地位的制度环境。以国家种业产业园、国家农高区等园区为载体,综合运用资金补贴、股权投资、空间委托运营等方式,引导和支持相关科研机构、科技领军企业、投资基金等在园区建立生物育种标秆孵化器,鼓励育繁推一体化企业并购优势科研单位或种子企业,扶植具有国际竞争力的种业企业做大做强,加快形成一批种企创新群。二是完善育种科技成果转化要素保障和制度供给机制,探索建立支持育种原始创新的体制机制与政策体系。建立“因种施策”的长效资金资助机制,采取实施年限不同的育种项目稳定支持政策,力争实现绝大多数物种的种源自主可控目标。进一步明确科技研发经费投入、产业与人才用地、转化人员奖励、公共服务平台建设等方面的支持措施,实现育种科技资源、成果、人才在学术界和产业界间有序流动。三是加大知识产权保护力度。以新基因、新技术、新品种知识产权保护为抓手,持续深化知识产权保护意识,系统设计 with 整体布局知识产权保护全球化战略,研究实

施品种“身份证”、种子认证管理,推动实现全流程可追溯管理。

参考文献(References)

- [1] 中国科学院文献情报中心现代农业科技情报团队, 中国科学院成都文献情报中心生物科技情报团队, 杨艳萍, 等. 趋势观察: 国际现代农业与工业生物技术领域发展态势与热点[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(7): 864-867.
- [2] 郑怀国, 赵静娟, 秦晓婧, 等. 全球作物种业发展概况及对我国种业发展的战略思考[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 45-55.
- [3] 高群, 徐意. 新发展格局下种业发展国际经验及对中国的启示[J]. 世界农业, 2023(4): 14-23.
- [4] 余志刚, 宫思羽. 新发展格局下实现种业科技自立自强的瓶颈及其破解[J]. 中州学刊, 2023(2): 37-45.
- [5] 蒋和平, 蒋黎, 王有年, 等. 国家粮食安全视角下我国种业发展的思路与政策建议[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 43(4): 77-88.
- [6] 程郁, 叶兴庆, 宁夏, 等. 中国实现种业科技自立自强面临的主要“卡点”与政策思路[J]. 中国农村经济, 2022(8): 35-51.
- [7] 魏珣, 孙康泰, 刘宏波, 等. “十三五”国家重点研发计划“七大农作物育种”重点专项管理经验与科技创新进展[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(11): 1-6.
- [8] 刘旭, 李立会, 黎裕, 等. 作物种质资源研究回顾与发展趋势[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 1-6.
- [9] 陈丽娟. 玉米优异种质资源规模化发掘与创新利用[J]. 中国种业, 2021(12): 6.
- [10] Yu X Y, Zhao Z G, Zheng X M, et al. A selfish genetic element confers non-Mendelian inheritance in rice[J]. Science, 2018, 360: 1130-1132.
- [11] Jiao Y Q, Wang Y H, Xue D W, et al. Regulation of *Os-SPL14* by *OsmiR156* defines ideal plant architecture in rice[J]. Nature Genetics, 2010, 42(6): 541-544.
- [12] Wei S B, Li X, Lu Z F, et al. A transcriptional regulator that boosts grain yields and shortens the growth duration of rice[J]. Science, 2022, 377(6604): eabi8455.
- [13] Deng Y W, Zhai K R, Xie Z, et al. Epigenetic regulation of antagonistic receptors confers rice blast resistance with yield balance[J]. Science, 2017, 355(6328): eaai8898.
- [14] Chen S J, Xu K, Kong D Y, et al. Ubiquitin ligase *Os-RINGzf1* regulates drought resistance by controlling the turnover of *OsPIP2;1*[J]. Plant Biotechnol J, 2022, 20(9): 1743-1755.
- [15] Liu Y Q, Wang H R, Jiang Z M, et al. Genomic basis of geographical adaptation to soil nitrogen in rice[J]. Nature, 2021(590): 600-605.
- [16] Zhai K R, Liang D L, Li H L, et al. NLRs guard metabolism to coordinate pattern- and effector-triggered immunity[J]. Nature, 2022, 601(7892): 245-251.
- [17] Gao M J, He Y, Wang G L, et al. Ca^{2+} sensor-mediated ROS scavenging suppresses rice immunity and is exploited by a fungal effector[J]. Cell, 2021, 184(21): 1-14.
- [18] Wu K, Wang S S, Song W Z, et al. Enhanced sustainable green revolution yield via nitrogen-responsive chromatin modulation in rice[J]. Science, 2020, 367(6478): eaaz2046.
- [19] Huang Y C, Wang H H, Zhu Y D, et al. *THP9* enhances seed protein content and nitrogen-use efficiency in maize[J]. Nature, 2022, 612(7939): 292-300.
- [20] Wang B B, Hou M, Shi J P, et al. De novo genome assembly and analyses of 12 founder inbred lines provide insights into maize heterosis[J]. Nature Genetics, 2023(55): 312-323.
- [21] Wang H W, Sun S L, Ge W Y, et al. Horizontal gene transfer of *Fhb7* from fungus underlies Fusarium head blight resistance in wheat[J]. Science, 2020, 368(6493): eaba5435.
- [22] Wang N, Tang C L, Fan X, et al. Inactivation of a wheat protein kinase gene confers broad-spectrum resistance to rust fungi[J]. Cell, 2022, 185(16): 2961-2974.
- [23] Nadeem M, Chen A D, Hong H L, et al. *GmMs1* encodes a kinesin-like protein essential for male fertility in soybean (*Glycine max* L.)[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2021, 63(6): 1054-1064.
- [24] Zhuang Y B, Wang X T, Li X T, et al. Phylogenomics of the genus *Glycine* sheds light on polyploid evolution and life-strategy transition[J]. Nature. Plants, 2022(8): 233-244.
- [25] 中国农村技术开发中心. 突破种业关键核心技术, 七大农作物育种迈上新台阶[J]. 中国农村科技, 2021(6): 8-13.
- [26] 张文. 加快生物育种研发应用 推进农业科技自立自强[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(12): 8-14.
- [27] 杨晓红, 周晋峰, 冯璐. 中国野生稻种质资源利用与保护[J]. 中国稻米, 2023, 29(1): 1-8.
- [28] 孔令博, 林巧, 聂迎利, 等. 中国农作物种业发展现状

- 及对策分析[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(4):1-13.
- [29] 王平. 我国种业发展的主要问题及对策探析[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(11): 7-16.
- [30] 农业农村部种业管理司. 2021年中国农作物种业发展报告[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2022.
- [31] 仇焕广, 张祎彤, 苏柳方, 等. 打好种业翻身仗: 中国种业发展的困境与选择[J]. 农业经济问题, 2022(8): 67-78.

Seed industry technology and equipment under the goal of agricultural power: Situation, challenge and path

FAN Beibei, LI Jin*, FENG Xian

Information Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

Abstract The core tool to realize agricultural power lies in scientific and technological innovation. Seed industry, as the "chip" of agriculture, technology and equipment innovation of crop seed industry is the primary driving force to build agricultural power. Based on the analysis of the practical demand for the innovation and development of seed industry technology and equipment to achieve the goal of agricultural power, this paper deeply summarized and analyzed the effect and trend of the development of crop seed industry technology and equipment. At present, the innovation level of science and technology and equipment of crop seed industry in our country has stepped into a new stage of following and leading. However, anchoring the goal of agricultural power, there is still a big gap between the development of science and technology and equipment of crop seed industry in our country and the realization of scientific and technological self-reliance and self-control of seed source, and the steady improvement of the ability to guarantee grain and important agricultural products. There are some weaknesses in the protection and utilization of germplasm resources, basic research of biological breeding, research and development of cutting-edge breeding core technology, research and development of advanced and applicable breeding equipment, and independent innovation of seed industry enterprises. Therefore, it is necessary to comprehensively promote the innovation and development of science, technology and equipment of seed industry from five dimensions, namely speeding up the construction of a new type of seed industry innovation system, promoting the open sharing, protection and utilization of germplasm resources, overcoming the key core technology of seed industry, strengthening the research and development and application innovation of seed industry equipment, and carrying out the policy experiment of seed industry innovation, so as to lay a solid foundation for the construction of an agricultural power.

Keywords agricultural power; crop seed industry; scientific and technological innovation; breeding equipment; food security ●



(责任编辑 徐丽娇)