

作物种业科技创新思路重塑: 形势与展望

魏珣^{1,2}, 吴锁伟^{1,2}, 万向元^{1,2*}

1. 北京科技大学生物农业研究院, 玉米生物育种北京市重点实验室, 主要作物生物育种北京市工程实验室, 北京 100083

2. 北京中智生物农业国际研究院, 北京 100192

* 联系人, E-mail: wanxiangyuan@ustb.edu.cn

2025-03-18 收稿, 2025-04-10 修回, 2025-04-14 接受, 2025-04-14 网络版发表

摘要 在全球极端天气频发、人口持续增长、粮食安全压力不断增大的背景下, 作物种业科技创新正处于机遇与挑战并存的关键时期. 在2024年7月第一届全国作物杂种优势与生物育种学术大会上, 胡培松研究员在大会报告中强调, 智能设计育种、合成生物学与人工智能是农业科技三大前沿领域, 需加大研发投入、完善创新生态、突破关键核心技术. 张献龙教授针对棉花育种技术创新和产业发展提出了四大转型路径: 从种质资源向基因资源延伸、单一技术向集成技术转变、经验育种升级为设计育种、单功能作物拓展至多功能作物, 同时构建产业链-技术链-人才链协同体系. 谢华安研究员系统梳理我国水稻育种历经的五个阶段, 指出当前已进入智能育种新纪元, 倡导通过培育“四性”(丰产性、优质性、抗逆性、广适性)综合在较高水平上的作物新品种来保障粮食安全. 翟虎渠教授强调需要深化杂种优势分子机理研究、作物重大功能基因挖掘与功能机理解析, 并推动基础研究与技术看新深度融合, 加速生物育种技术产业化进程, 依托区域农业特色以形成差异化竞争优势. 综看, 我国应加强作物功能基因组学、杂种优势机理等基础研究, 突破智能育种等关键核心技术, 构建覆盖作物种业全产业链的科技创新体系, 推动农业教育科技人才一体化发展, 并培育国际竞争力强的种业龙头企业, 形成种业新质生产力, 发展新型生物经济, 为国家粮食安全和农业可持续发展提供有力支撑.

关键词 作物种业, 人工智能, 生物育种, 杂种优势, 农业科技创新体系

当前, 全球气候变化导致极端天气频发, 人口增长带来粮食需求压力, 各国加大对高产稳产作物新品种的研发投入, 作物种业科技创新正迎来前所未有的机遇与挑战. 一方面, 全球科技与产业革命为作物种业带来发展机遇. 以CRISPR/Cas9为代表的基因编辑技术实现了对目标基因的精准修饰, 为作物性状改良提供了高效工具^[1,2]; 合成生物学技术通过设计和构建基因调控网络及代谢途径, 有望实现作物高产、抗逆、营养品质等复杂性状的定向改良^[3]; 人工智能技术通过大数据分析和机器学习算法, 显著提升了基因组选择育种的效率和准确性^[4]. 同时, 高通量测序技术、表型组学技术、生物信息学技术的快速发展, 推动育种模式

从传统的“经验育种”向“精准设计育种”转变, 为种业发展开辟新路径. 我国在水稻、玉米、小麦等主粮作物基因组学研究、杂交水稻育种技术、分子设计育种等方面取得重要突破, 并在杂交水稻、抗虫棉等领域实现了技术领跑^[5~12].

另一方面, 种业科技创新仍面临诸多挑战. 基因编辑、合成生物学等新技术潜在的技术和生态风险引发广泛关注, 需要建立完善的生物安全评价体系和监管机制^[1,3,13]. 种质资源多样性下降和遗传侵蚀问题日益突出, 亟需加强种质资源收集、保存、评价和利用, 构建全球共享机制. 此外, 跨国种业巨头通过专利壁垒和技术垄断控制全球种业市场, 发展中国家种业发展面

引用格式: 魏珣, 吴锁伟, 万向元. 作物种业科技创新思路重塑: 形势与展望. 科学通报, 2025, 70: 3012–3016

Wei X, Wu S, Wan X. Restructuring strategies for crop seed industry innovation: challenges and prospects (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 3012–3016, doi: [10.1360/CSB-2025-0296](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0296)

临严峻挑战。我国种业科技创新仍存在核心技术原创不足、种业企业竞争力不强等问题,亟待突破瓶颈,实现跨越式发展。

本文依据中国工程院院士胡培松研究员、中国工程院院士张献龙教授、中国科学院院士谢华安研究员,以及第一届全国作物杂种优势与生物育种学术大会主席、俄罗斯科学院外籍院士翟虎渠教授在大会上报告内容,整理形成战略评述文章,以期作为作物育种和种业相关科技创新工作者提供有益参考。

1 胡培松研究员:农业科技创新前沿热点的预判

近年来,我国农业科技创新取得较大进步,整体水平处于世界第一方阵、在发展中国家处于领先地位,与发达国家的差距逐步缩小。当前,新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起,习近平总书记要求充分认识加快科技创新的重大战略意义,努力抢占科技创新制高点,加快解决制约科技创新发展关键问题。当前,前沿技术的突破正在深刻地改变传统农业的面貌,尤其是基因组学、人工智能和合成生物学等领域的进展,为农业科技发展带来了革命性的变革。这些技术不仅促进了农业现代化,也为全球粮食安全和可持续发展提供了新的解决方案。

首先,智能设计育种已成为未来农业发展的核心方向之一。与传统育种方法相比,智能设计育种以全基因组预测为核心,通过大数据和机器学习算法弥补先验知识的不足,能够实现作物表型性状的精准预测。例如,水稻智能计算系统利用田间智能图像识别和基因组信息表型智能评价,打通了基因型到表型的预测关键环节,突破了传统育种中表型评价对大田环境的依赖^[4]。这种技术不仅加速了育种进程,还通过智能决策系统为亲本推荐、世代选择等提供个性化育种方案,实现了育种全流程的智能化。

其次,合成生物学作为一门多学科交叉的前沿领域,在农业科技中展现出巨大潜力。该技术通过构建生物功能元件和系统,对细胞或生命体进行遗传学设计和改造,使其拥有人类需求的生物学功能。例如,中国科学院天津工业生物技术研究所成功利用二氧化碳和氢气为原料人工合成淀粉,为未来粮食生产开辟了新途径^[14]。此外,合成生物学在农业中的应用还包括改善作物营养价值、提高产量以及减少农药化肥的使用。然而,该领域仍面临诸多挑战,如生物合成过程的调控

基因和元件未知、大片段DNA操作工具缺乏、农业生物遗传转化体系不完善、高效基因编辑与表达调控技术不足、跨学科人才匮乏、政策法规和伦理研究滞后等。因此,未来需要加大相关研发投入,提升合成生物技术的自主创新能力,并建立以国家和市场需求为导向的研发与孵化体系。

最后,人工智能技术的快速发展也为农业科技创新带来了新的突破。以DeepMind的AlphaFold为例,其在蛋白质结构预测领域的成就不仅推动了生物医学的发展,也为农业生物技术提供了新的工具^[15]。通过AI辅助的基因编辑技术,科学家能够更精准地进行作物基因改造,开发出具有抗病、高产等优良性状的新品种^[16]。此外,人工智能技术还推动了智能传感器的开发,这些传感器可以实时监测作物生长环境和健康状况,为精准农业提供数据支持^[17]。综上所述,农业科技的前沿热点正朝着智能化、精准化和跨学科融合的方向发展。未来,随着跨学科合作的不断深化和技术创新的持续推进,先进技术赋能的农业科技有望在应对全球农业挑战方面发挥更为关键的作用。

但是,我国农业科研领域依旧存在“卡脖子”问题,众多农业关键核心技术亟待攻关。为加快解决这些制约科技创新发展的关键问题,首先要强化使命担当,聚焦关键技术,加大研发投入,集中力量进行攻关,突破技术瓶颈。其次,科研人员尤其是青年人才,要培养创新思维,善于逆向思维,敢于“异想天开”“无中生有”,增强批判性思维,勇于挑战权威和经典理论,坚持原创性、前瞻性、引领性研究,同时要甘坐冷板凳,坚持不懈地持续创新。再者,需营造良好的创新生态,培育鼓励探索、宽容失败、尽职免责的创新文化,构建产学研协同、国内外合作、线上线下开源的协同式创新体系,完善人才保障、金融支撑、供需对接、知识产权运营等服务体系,全方位激发创新活力,推动科技创新发展。

2 张献龙教授:棉花育种路径与产业迭代升级的思考

棉花作为国家重要的战略物资,不仅是纺织业的关键原料,还可作为食用油、饲料原料,其产业的安全与发展关乎国家农产品安全乃至整体经济安全。当前,棉花产业面临着多重挑战。在产业层面,棉花供需缺口持续存在,进口依赖度较高,中美在棉花产业链的竞争长期存在,但棉花产业向我国内地大规模转移存在诸

多困难,如分散种植以及技术难题导致全程机械化难以实现,且机采棉卖棉难;此外,机采棉花产业链不健全,部分环节利润低;同时,政策与价格不稳定,一定程度影响了棉农的种植积极性。在技术层面,我国现代棉花品种遗传资源狭窄,新疆棉花育种单位在远缘杂交、生物技术创新棉花种质资源方面基础薄弱^[6]。品种方面,新疆对棉花品种有着明确的需求,早熟且集中成熟,机采品质优,具备抗黄萎病、耐高温、耐盐碱、抗旱等多抗特性的棉花品种,是未来棉花育种的关键方向。

针对棉花产业的挑战与需求,棉花育种思路需要完成从重大种质资源发掘到重大基因资源发掘转变、从单一育种技术到多种育种技术整合转变、从经验育种到设计育种转变,以及从单一功能作物到多功能作物育种转变。具体来说,需要开展高质量基因组解析,性状关联位点转化为选择育种标记、开展聚合育种;“基因组+基因编辑”,对性状进行定向改良;此外,需要发掘异源生物基因,赋予棉花新的性状。

为实现棉花产业的健康可持续发展,必须从产业链、技术链和人才链三方面入手。首先,要建立完整的产业链,从种子繁育、种植管理、收购加工到纺织制造,形成一体化的产业体系,以确保棉花产业的稳定与协调发展。其次,注重技术链的创新与衔接,通过规模化、信息化、自动化、机械化、标准化、商品化等环节的持续优化,提升棉花生产的整体效能。同时,加强人才队伍建设,建立与技术链相匹配的人才链,为棉花产业的持续发展提供智力和技术支持。此外,还需建立洁净生产技术体系和种子质量标准体系,以确保棉花产品的质量与安全。最后,倡导大众化的生态健康观,引导消费者多用棉制品,少用化纤制品,促进棉花产业的多元化发展。

3 谢华安研究员:提出三元驱动的水稻“四性”综合育种策略

粮安天下,种为粮先。回顾我国水稻百年育种史,主要经历了五个发展阶段:常规纯系育种、杂交育种、诱变育种、杂交水稻育种和现代分子育种,取得了矮秆水稻、三系杂交水稻和两系杂交水稻等重大技术突破。目前,杂交水稻累计推广超过90亿亩,累计增产粮食超过8000亿公斤。其中,以明恢63为代表的抗稻瘟病强优势恢复系和汕优63为代表的杂交水稻良种,为我国水稻育种和粮食安全做出了突出贡献。以明恢63作

为主体亲本和优异种质,配组的杂交水稻品种通过省级以上审定数量达到922个,国家级审定数量达到167个,累计推广面积13.1亿亩。汕优63是全国推广面积最大、推广时间最长、效益最显著的杂交水稻良种,累计推广面积超10亿亩,增产粮食近700亿公斤^[18]。

当前我国水稻育种已进入“常规育种+生物技术+信息技术”三元驱动的“智能育种”阶段,将大幅度提高水稻育种效率。面向未来,谢华安院士提出了水稻“四性”综合育种,通过传统育种技术与现代分子育种技术相融合,利用水稻杂种优势,精准高效、协同改良品种性状,培育出“丰产性、优质性、抗逆性及广适性”等四性综合水平高的作物新品种,保障绿色、安全、高效的粮食生产。通过打造现代农业产业链,发展农业新质生产力,加强科技创新,做强种业芯片,实现藏粮于技,保障粮食安全。同时,高举生态农业旗帜,以高产作为立足点、以生态作为切入点、以绿色作为创新点、以高效作为突破点,大力发展绿色、优质、高效、安全的品牌农业,支撑我国农业可持续发展。

4 翟虎渠教授:提出作物杂种优势与生物育种深度融合

作物杂种优势利用是现代农业科技创新的关键标志,其理论与技术创新是推动作物增产的关键因素。自20世纪初美国在玉米杂交育种中取得突破以来,杂种优势理论逐渐成为作物遗传改良的核心^[19]。随着1953年DNA双螺旋结构的发现,分子生物学的飞速发展,为杂种优势机理研究和生物育种技术创新提供了新路径。近年来,基因组学、分子标记辅助选择、基因编辑等技术不断涌现,使杂种优势利用进入精准、高效的分子设计育种时代,未来生物育种技术与作物杂种优势利用深度融合,可助力进一步提高作物产量潜力。

在应用层面,杂种优势利用在玉米、水稻等主要农作物中取得了显著成效,优化自交系及杂交种株高和种植密度能大幅提升产量,保障粮食安全^[20,21]。但我国仍面临自交系选育精准性不足、杂交种遗传背景狭窄及生物育种技术普及率低等问题。因此,加强基础研究与技术创新结合,推动杂种优势机理理论研究突破和生物育种技术产业化,是当前重要任务。

此外,区域农业发展为杂种优势利用提供了空间。大会举办地新疆伊犁凭借其独特的自然条件和丰富的农业资源,成为我国玉米和小麦的高产区。引入杂种优势生物育种技术,结合当地的农业生产要素优势,有望

进一步提升当地的农业竞争力。在未来, 应加强跨学科合作, 促进理论与技术的深度融合, 推动杂种优势生物育种技术的广泛应用, 以满足我国农业高质量发展的需求。

综上, 面对作物种业的重大机遇与挑战, 我国应加强作物功能基因组学、作物杂种优势机理、合成生物

学等基础研究, 突破基因编辑、生物育种、人工智能等关键核心技术, 构建覆盖作物种业全产业链的科技创新体系, 推动农业教育科技人才一体化发展, 培育具有国际竞争力的种业龙头企业, 加快推动种业新质生产力形成, 大力发展新型生物经济^[22], 为保障国家粮食安全和农业可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- Chen K, Wang Y, Zhang R, et al. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annu Rev Plant Biol*, 2019, 70: 667–697
- Jiang Y, An X, Li Z, et al. CRISPR/Cas9-based discovery of maize transcription factors regulating male sterility and their functional conservation in plants. *Plant Biotechnol J*, 2021, 19: 1769–1784
- Zhang D, Xu F, Wang F, et al. Synthetic biology and artificial intelligence in crop improvement. *Plant Commun*, 2025, 6: 101220
- Xu Y, Zhang X, Li H, et al. Smart breeding driven by big data, artificial intelligence, and integrated genomic-enviromic prediction. *Mol Plant*, 2022, 15: 1664–1695
- Chen R, Deng Y, Ding Y, et al. Rice functional genomics: decades' efforts and roads ahead. *Sci China Life Sci*, 2022, 65: 33–92
- Wen X, Chen Z, Yang Z, et al. A comprehensive overview of cotton genomics, biotechnology and molecular biological studies. *Sci China Life Sci*, 2023, 66: 2214–2256
- Yao Y, Guo W, Gou J, et al. Wheat2035: integrating pan-omics and advanced biotechnology for future wheat design. *Mol Plant*, 2025, 18: 272–297
- Liu H J, Liu J, Zhai Z, et al. Maize2035: a decadal vision for intelligent maize breeding. *Mol Plant*, 2025, 18: 313–332
- An X, Dong Z, Tian Y, et al. ZmMs30 encoding a novel GDLS lipase is essential for male fertility and valuable for hybrid breeding in maize. *Mol Plant*, 2019, 12: 343–359
- An X, Ma B, Duan M, et al. Molecular regulation of *ZmMs7* required for maize male fertility and development of a dominant male-sterility system in multiple species. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, 117: 23499–23509
- Wan X, Wu S, Li X. Breeding with dominant genic male-sterility genes to boost crop grain yield in the post-heterosis utilization era. *Mol Plant*, 2021, 14: 531–534
- Wan X, Wu S, Li Z, et al. Maize genic male-sterility genes and their applications in hybrid breeding: progress and perspectives. *Mol Plant*, 2019, 12: 321–342
- Wei X, Pu A, Liu Q, et al. The bibliometric landscape of gene editing innovation and regulation in the worldwide. *Cells*, 2022, 11: 2682
- Cai T, Sun H, Qiao J, et al. Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide. *Science*, 2021, 373: 1523–1527
- Abramson J, Adler J, Dunger J, et al. Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3. *Nature*, 2024, 630: 493–500
- Huang J, Lin Q, Fei H, et al. Discovery of deaminase functions by structure-based protein clustering. *Cell*, 2023, 186: 3182–3195.e14
- Sarkar S, Ganapathysubramanian B, Singh A, et al. Cyber-agricultural systems for crop breeding and sustainable production. *Trends Plant Sci*, 2024, 29: 130–149
- Xie F, Zhang J. Shanyou 63: an elite mega rice hybrid in China. *Rice*, 2018, 11: 17
- Liu W, He G, Deng X W. Toward understanding and utilizing crop heterosis in the age of biotechnology. *iScience*, 2024, 27: 108901
- Tian J, Wang C, Chen F, et al. Maize smart-canopy architecture enhances yield at high densities. *Nature*, 2024, 632: 576–584
- Li S, Tian Y, Wu K, et al. Modulating plant growth–metabolism coordination for sustainable agriculture. *Nature*, 2018, 560: 595–600
- Wei X, Liu Q, Pu A, et al. Knowledge mapping of bioeconomy: a bibliometric analysis. *J Clean Prod*, 2022, 373: 133824

Summary for “作物种业科技创新思路重塑：形势与展望”

Restructuring strategies for crop seed industry innovation: challenges and prospects

Xun Wei^{1,2}, Suwei Wu^{1,2} & Xiangyuan Wan^{1,2*}

¹ Research Institute of Biology and Agriculture, Beijing Key Laboratory of Maize Bio-Breeding, Beijing Engineering Laboratory of Main Crop Bio-Tech Breeding, University of Science and Technology, Beijing 100083, China

² Zhongzhi International Institute of Agricultural Biosciences, Beijing 100192, China

* Corresponding author, E-mail: wanxiangyuan@ustb.edu.cn

Against the backdrop of global climate change, population growth, and mounting food security challenges, crop seed industry innovation stands at a critical juncture of both opportunities and challenges. At the 1st Crop Heterosis and Bio-breeding Conference of China held in July 2024, Professor Hu Peisong emphasized that smart design breeding, synthetic biology, and artificial intelligence represent three frontier domains in agricultural technology, requiring increased R&D investment and an optimized innovation ecosystem to achieve breakthroughs in key technologies. Professor Zhang Xianlong proposed four transformative pathways for cotton breeding technology innovation and industry development: expanding from germplasm resources to genetic resources, integrating single technologies into multi-technology systems, upgrading experience-based breeding to design-driven breeding, and shifting from single-function to multi-functional crop development, alongside building a synergistic industrial chain-technology chain-talent chain framework. Professor Xie Hua'an reviewed the five historical phases of China's rice breeding and highlights the advent of the smart breeding era. He advocates integrating “four key traits” (high yield, superior quality, stress resistance, and adaptability) to develop new crop cultivars for food security and green agriculture. Professor Zhai Huqu stressed the need to deepen the study of molecular mechanisms underlying heterosis, identification of key functional genes in crops, and elucidation of their functional mechanisms. It is necessary to bridge fundamental research with technological innovation, accelerate the industrialization of biotechnology breeding technologies, and harness regional agricultural strengths to build differentiated competitive advantages. In summary, China should strengthen foundational research in crop functional genomics, heterosis mechanisms, and so on, overcome core technological bottlenecks such as intelligent breeding, and establish a scientific and technological innovation system covering the entire industrial chain of the crop seed industry. Furthermore, it should integrate agricultural education with scientific talent cultivation, foster globally competitive seed industry leaders, develop new agricultural productivity, and advance the emerging bioeconomy to underpin national food security and sustainable agricultural development.

crop seed industry, artificial intelligence, biotechnology breeding, heterosis, agricultural science and technology innovation system

doi: [10.1360/CSB-2025-0296](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0296)