

中国实现种业科技自立自强面临的 主要“卡点”与政策思路*

程郁¹ 叶兴庆¹ 宁夏¹ 殷浩栋¹ 伍振军¹ 陈凯华²

摘要：本文通过对育种科学家、种业企业以及国家作物种质库的深度调研访谈，并利用论文和专利大数据对中国种业创新全链条进行系统的诊断分析，发现制约中国种业科技自立自强的主要“卡点”集中在种质资源、育种技术、育种人才和海外专利技术布局四个领域。形成这些“卡点”的主要原因在于中国种业创新投入不足与投入结构不合理、育种科研力量各自为战、创新链条脱节和断链、种业企业创新能力不强、育种知识产权保护和激励不足等。促进中国种业科技自立自强，需瞄准存在的主要“卡点”，着力突破关键制约因素，系统谋划种业创新体系和创新环境建设方案。应以新型举国体制构建全产业链种业创新体系，完善种质资源的收集鉴定、扩繁利用机制，支持种业企业做强做大并强化产业整合优势，加快布局智慧育种的研发体系，健全种业创新市场激励机制。

关键词：种业科技 自立自强 卡点 创新体系

中图分类号：F323.3 G306.7 **文献标识码：**A

一、引言

种子被誉为农业的“芯片”，是农业现代化的关键。2020年12月召开的中央经济工作会议和中央农村工作会议、2021年中央“一号文件”均强调，要开展种源“卡脖子”技术攻关，打好种业翻身仗。2021年7月，习近平总书记在主持中央全面深化改革委员会第二十次会议审议《种业振兴行动方案》时指出：“农业现代化，种子是基础，必须把民族种业搞上去，把种源安全提升到关系国家安全的战略高度，集中力量破难题、补短板、强优势、控风险，实现种业科技自立自强、种源自主可控。”^①促进种业科技自立自强需要找准面临的主要“卡点”及其形成原因，以攻坚主要“卡点”为核心，以补齐种业创新体系的短板为着力点，重塑种业创新体系，全面提升种业自主创新能力。

*本文通讯作者：叶兴庆。

^①详见《人民日报》2021年7月10日第1版相关报道，<http://qh.people.com.cn/n2/2021/0710/c182753-34814224.html>。

本文通过对 11 名育种科学家、5 家种业企业以及国家作物种质库的深度调研访谈^①，对种业创新全链条进行系统的诊断分析，从种质资源、育种技术、育种人才、海外专利技术布局四个维度分析中国种业创新面临的主要“卡点”，考察了这些“卡点”背后的深层原因。本文瞄准生物育种和智慧育种两大前沿竞争领域，经咨询生物育种科学家，确定了生物育种和智慧育种创新的关键词，在 Web of Science 搜索出 1903 年以来的 194165 篇生物育种和 43183 篇智慧育种论文，在 Incopat 和德温特专利数据库中搜索出 1926 年以来的 98649 件生物育种和 16053 件智慧育种专利，分析中国在种业科技创新竞争中面临的机遇与挑战^②。从文献和专利数量看，中国在生物育种和智慧育种创新领域实现了快速发展，已成为仅次于美国的育种创新大国，但在核心论文和核心专利上仍明显落后于美国，特别是在具有实际应用价值的创新上差距更为明显，在新一代智慧育种技术轨道上，中国存在更为突出的短板。这既是创新实力差距的结果，更是创新体制差距的反映，中国在种业创新投入、创新体系结构、产业体系结构、创新政策环境以及人才培养等方面仍面临一系列关键制约因素。全球育种科技创新已从单点创新转向复杂功能、跨学科、多流程的综合集成创新，要实现种业科技自立自强，中国必须以新型举国体制重构种业全产业链创新体系，前瞻布局、集聚力量、整合资源突破主要“卡点”，抢占关键核心技术制高点，促进基础研究、应用开发和产业化应用有机衔接。

二、中国实现种业科技自立自强面临的主要“卡点”

目前中国农业用种安全总体水平较高，农作物特别是粮食自主选育品种种植面积占 95%以上，畜禽和水产核心种源自给率分别达到 75%和 85%^③，种业科技快速发展。但也应看到，种猪、奶牛、白羽鸡、牧草等的核心种质资源对外依存度高达 70%以上（孔祥智，2021；金京波等，2021），育种核心技术与前沿国家相差甚远。应立足底线思维，清醒认识到中国种业科技既存在不能“自立”的问题，也存在“自立”而不能“自强”的问题。本文通过种质资源、专利技术格局、育种方法体系等维度的国际比较发现，中国实现种业科技自立自强面临以下主要“卡点”。

（一）种质资源上存在的“卡点”

与其他技术创新不同，种业创新是对已有动植物和微生物遗传资源的改良，种质资源是基础性条件。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。中国种质资源库保存的优质和特异品种不多、来源多元化不足、精准鉴定比例不高，种质资源交流共享机制不健全，使中国种业创新面临基础材料的“卡点”。

^①访谈的育种科学家包括李家洋、曹晓风、万建民、陈化榜、田志喜、赖锦盛、赵久然、张健、张世平、王喜庆和王红武，调研企业包括先正达集团中国、袁隆平农业高科技股份有限公司（简称“隆平高科”）、大北农集团、岳麓山种业创新中心有限公司和华智生物技术有限公司。

^②本文中所用数据，除单独标注来源的之外，皆为本文作者对 Web of Science 论文和 Incopat、德温特专利数据分析得到。

^③详见 2021 年 2 月 22 日农业农村部副部长张桃林在国务院新闻办公室举行的新闻发布会上的介绍，http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/23/content_5588394.htm。

一是种质资源的优质性和多样性不足。2020年，中国国家农作物种质资源库农作物种质资源存量突破52万份，居世界第二，仅次于美国。但种质资源来源结构较为单一，优质、特异资源较少。中国国家农作物种质资源库中来自国外的资源仅占24%，而欧美长期在全世界搜集种质资源，美国国家植物种质体系（NPGS）共保存了600419份种质资源，其中72%来自国外，种质资源遗传多样性更为丰富（郑怀国等，2021）。一些起源于国外的蔬菜品种种质资源在中国国家农作物种质资源库保存的蔬菜种质资源中所占比例仅为6.4%，世界上许多抗病、抗逆、优质育种材料中国还未收集到^①。

二是基因性状功能的精准鉴定不足。在中国保存的52万份农作物种质资源中，完成精准鉴定的不到1.5万份^②。以玉米为例，玉米种质资源经过重要农艺性状鉴定评价的仅占10%，真正得到商业化利用的只有1%左右，而美国近10万份玉米种质资源中约有20%经过精准性状鉴定，企业保存的种质资源经过性状鉴定后可直接进行商业化利用^③。大量种质资源未能得到精准鉴定，给作物种质资源的利用带来困难，中国作物种质资源利用率仅为3.0%~5.0%，有效利用率仅为2.5%~3.0%（郑怀国等，2021）。

三是种质资源交流共享机制不健全。中国国家农作物种质资源库由于单品种保存量少、性状信息不充分以及合作开发机制不健全，向相关研究人员提供种质资源的能力与动力均不足。而企业、大学和科研院所自有的种质资源没有公开信息，相当部分还分散在科研人员手中，难以建立起种质资源交换流动、共享开发的广泛协作机制。

（二）育种技术上存在的“卡点”

一是在生物育种原始创新和前沿核心技术上存在明显差距，使中国处于核心技术引不来、应用上受知识产权约束的被动地位。在生物育种技术方面，中国和美国累计论文数的全球占比分别达到14.2%和36.4%，累计申请专利的全球占比分别达到33.2%和60.4%。自2015年起，中国当年申请专利数已持续超过美国。在差距较大的生物育种基础研究领域，中国与美国的差距也在缩小，2020年中国发表论文达到3891篇，仅比美国少213篇（见图1）。中国虽然在每年论文发表和专利申请数量上已赶超美国，但深入对比发现，双方长期积累下来的数量差距依然十分明显，尤其是在高质量研究和高价值专利上的存量差距依然很大。在全球1713篇高引论文中，中国只有403篇，而美国为921篇，是中国的2.3倍；在全球8379件高价值核心专利^④中，中国只有461件，而美国有6035件，是中国的13.1倍（见图2）。中国的有效专利数量少，占比呈下降趋势。截至2019年底，中国累计有效专利只有6044件，比美国少7207件；中国有效专利占申请专利的比例从2014年的34%下降至33%，同期美国

^①资料来源：《中国种业“卡脖子”卡在哪？》，<http://wap.nfnfcb.cn/show-1224-1202388-1.html>。

^②详见《打好这场种业翻身仗——访中国农业科学院副院长万建民》，<http://country.people.com.cn/n1/2021/0131/c419842-32017835.html>。

^③数据来源：本文作者调研访谈中了解到的情况。

^④核心专利根据专利类型、有效状态、权利要求数量、是否发生许可、是否发生转让等21项指标评价筛选，将各指标对价值度的影响力作为调整因子，因而核心专利也被认为是高价值专利。

从 38% 上升至 40%。核心专利和有效专利不足，表明中国生物育种创新的实用价值不高，能够产业化利用的不多；高引用论文缺乏，表明中国具有突破性贡献的研究较少。在当前生物育种普遍应用的基因编辑技术方面，虽然中国科学家拥有最多的 CRISPR 专利，但 CRISPR 原始核心专利主要为美国、德国和韩国拥有，在 CRISPR 基因编辑技术的优先权上中国大大落后于美国（宋秀芳等，2020）。而且拜耳已买断 CRISPR/Cas12 的专利所有权，中国应用这一技术如不支付专利费可能面临侵权风险。

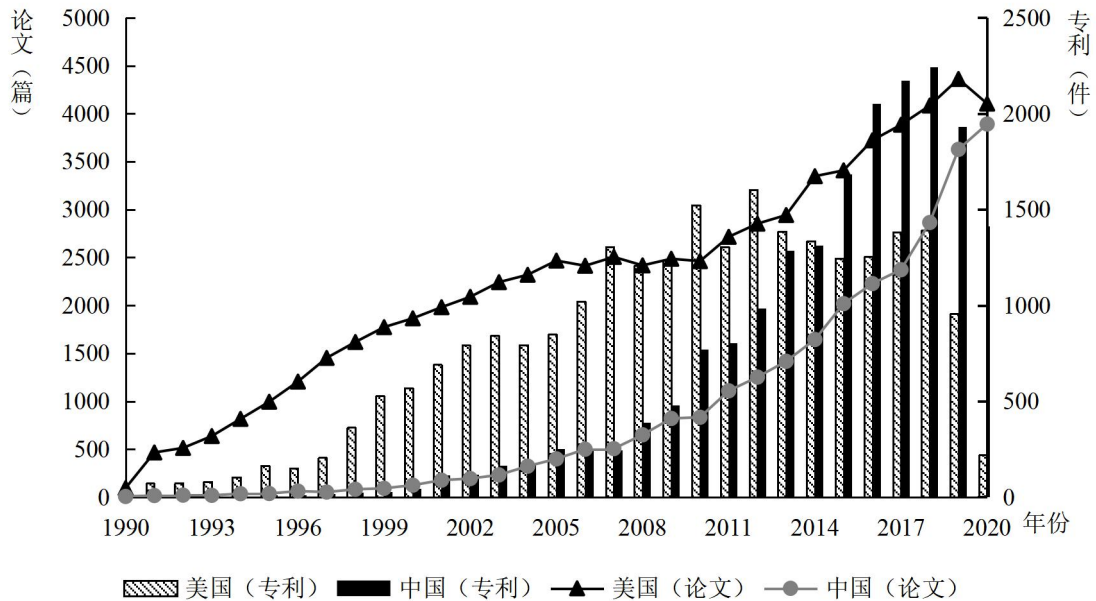


图 1 中美生物育种领域的论文和专利数量比较

注：专利申请信息要在 18 个月至 3 年后才逐步公开，因此 2018—2020 年数据不能充分反映真实情况。

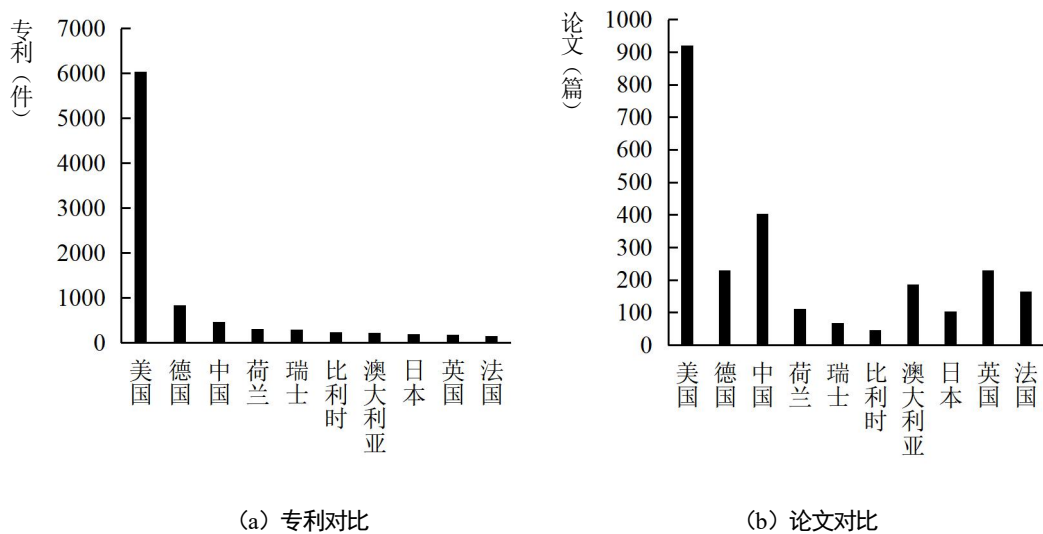


图 2 生物育种领域核心专利与高引论文数量的国别比较

二是在重要实用功能基因的发现方面存在较大差距，会使中国在优良基因和优质育种材料的应用上受到限制。随着国家投入力度的加大和海外高层次人才的回流，中国在生物育种科技创新和专利发明方面取得明显进步，在部分细分领域与以美国为代表的发达国家的差距明显缩小，在某些方面甚至已经超越发达国家。例如，在与生物育种有关的基因组技术上，中国累计获得专利 6002 件，与美国仅差 504 件（见图 3）。其中，在全基因组方面，中国累计获得专利 752 件，已大幅超过美国。但需要清醒地看到，在更具应用价值的基因性状功能的科学研究和专利发明等方面，中国与美国的差距依然十分明显。例如，在全球 55725 篇有关基因表达的论文中，中国占 16%，美国占 45%；在全球 31868 篇有关基因性状的论文中，中国占 22%，美国占 38%。这种局面将影响中国在基因表达和基因性状应用研究方面的赶超步伐。又如，在与基因性状功能相关的专利中，中国为 3409 件，美国高达 12930 件（见图 3）。其中，在与等位基因相关的专利中，中国为 1018 件，美国为 1899 件。精确鉴定基因性状功能、发现优良等位基因和创制相关育种材料是生物育种的关键。这方面的差距不仅会使中国缺乏创制优良品种的基础材料，而且一旦被别国抢先申请专利，轻则需要支付专利费、增加育种成本，重则被禁止使用、成为受制于人的“卡点”（盖钧镒等，2015；靖飞等，2021）。在实用性技术方面，中国与美国的差距也非常明显，这会使中国在实用性技术的综合集成应用上也受到制约。以玉米为例，美国在产量、品质、养分利用方面的论文数量分别是中国的 1.9 倍、2.1 倍和 1.8 倍，在产量、品质、抗虫等重要性状方面的专利数量分别是中国的 2.5 倍、8.0 倍和 16.2 倍，尤其是抗除草剂性状专利数量是中国的 33.9 倍（见图 4）。中国在重要经济性状形成的生物学基础及调控机制，品质、产量与抗性协调改良以及非生物逆境与作物发育的相互作用机理等方面研究薄弱，极大制约了玉米创新品种的综合性能提升（戴景瑞和鄂立柱，2010）。

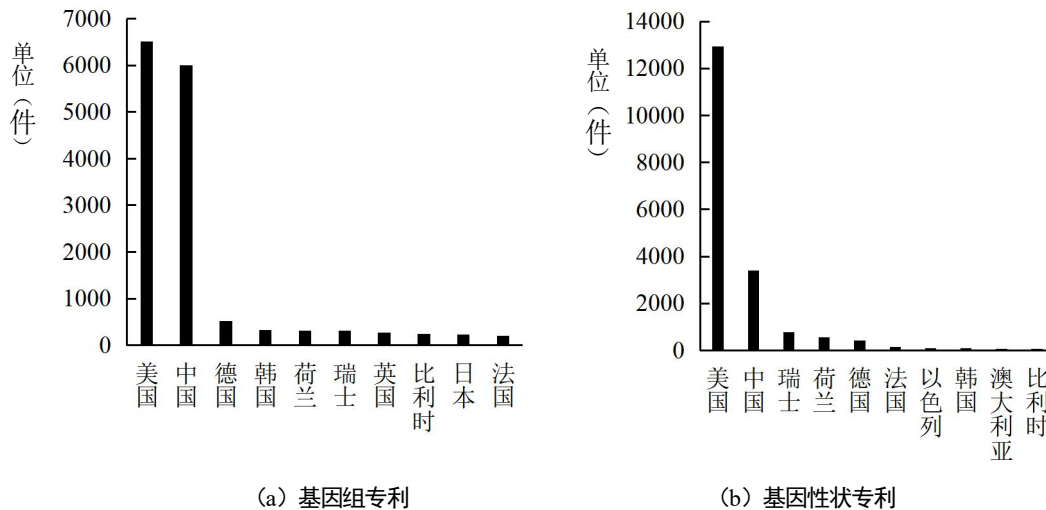


图 3 基因组与基因性状专利数量的国别比较

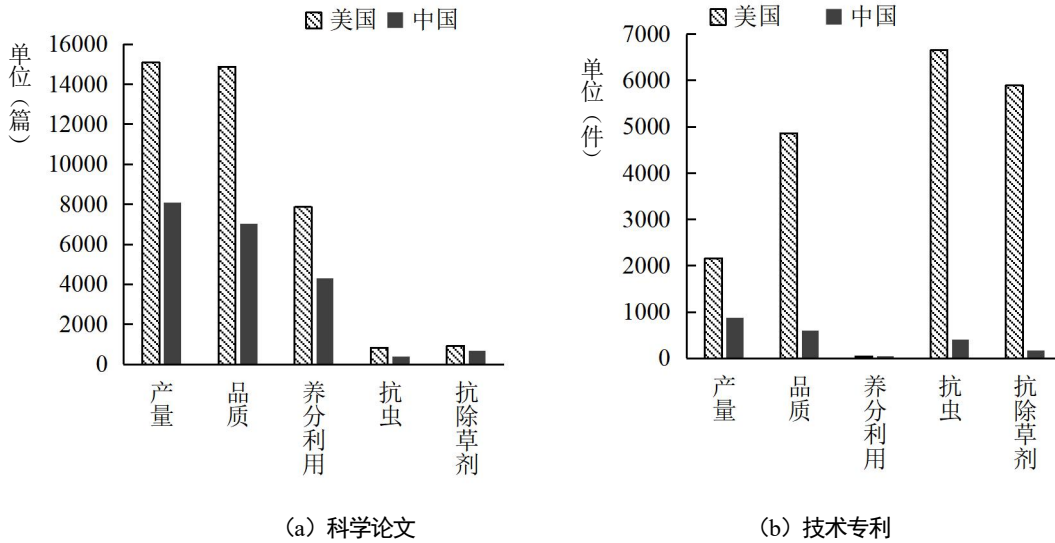


图4 中国和美国玉米重要实用技术科学论文和技术专利数量的比较

三是育种科研工具与仪器设备高度依赖进口，部分技术设备仍无法从国外获得。由多源传感器、立体交叉平台和数据分析三部分组成的植物高通量表型平台是未来育种技术竞争的关键环节。而中国尚缺乏此方面的自主知识产权技术，大部分表型组设备和技术依赖进口。比如，传感器、数据分析软件大多数需从国外引进，表型-基因型育种平台设备、生态育种平台设备等主要来自德国、美国、荷兰和捷克等国。基因芯片是设计育种的关键技术手段，但中国基因芯片尚处于空白。基因芯片技术被美国昂飞公司（Affymetrix Inc.）垄断，并作为技术秘密不对外提供和转让。种子自动微创取样技术与高通量分子检测技术相结合，可从数万粒种子中选出含有目标基因的种子用于育种，成倍提高育种效率，但高通量种子微创取样技术及种子切片机一直被国外公司垄断，并且不对外提供任何技术服务和技术转让。不能获得最先进的育种科研工具和设备，恐将抑制中国育种技术的升级。

四是育种技术与国际先进水平存在明显代际差距。育种技术进步大致可以分为四个阶段：“1.0时代”是驯化选育，“2.0时代”是杂交育种，“3.0时代”是分子育种，“4.0时代”是生命科学、信息科学与育种科学深度融合的智慧育种（王向峰和才卓，2019；种康和李家洋，2021）。智慧育种利用农作物基因型、表型、环境及遗传资源等大数据为核心基础，通过人工智能技术，培育出适合特定地理区域和环境的品系品种。智慧育种技术能以较小群体为基础实现性状的精准定向改良，可将育种周期从5~10年缩短为2~3年，而且育种的精准性、环境的适应性得到大幅提升（郭庆华等，2018）。国际种业巨头均建立了基于基因型-表型-环境数据采集与模拟分析的智慧育种研发体系，并已从温室表型技术拓展到大田表型技术，每年研发数据处理能力均在成倍增长。比如，孟山都2013年收购气象大数据公司，2014年分别收购了Solum公司的土壤分析板块和精密种植公司；2021年拜耳推出了数字农业平台Climate FieldView；杜邦2017年收购了农场管理软件公司Granular；巴斯夫2017年与欧洲航天局签署合作协议，利用卫星数据为农业生产提供服务，同年收购了美国的数字农业公司Zedx，2018年收购拜耳全套数字化农业平台xarvio。这些整合，一方面提升了公司的后端集成技术服务能力，

以服务强化产品的市场竞争力，另一方面更广泛地收集农场生产的各类数据，以生产实践大数据强化对研发的检验和进一步优化育种算法。而中国育种大多处在以杂交选育和分子技术辅助选育为主的2.0时代至3.0时代之间，育种质量、效率以及品种地域适应能力等与国际先进水平还存在较大差距。从智慧育种的科学论文来看，截至2020年底美国发表论文共16104篇，中国仅5586篇（见图5），而在552篇高引用论文中，美国占到了51%，中国仅占15%。从全球智慧育种专利申请人的国别分布来看，美国共有10093件，占全球的比例为53%，中国只有7662件，占全球的比例仅为40%（见图6）。中国在具有实用价值的核心专利上的差距更加明显，美国共有5885件，占全球的比例为75%，中国仅有171件、占全球的比例仅为2.2%，还落后于德国、荷兰、加拿大、瑞士。

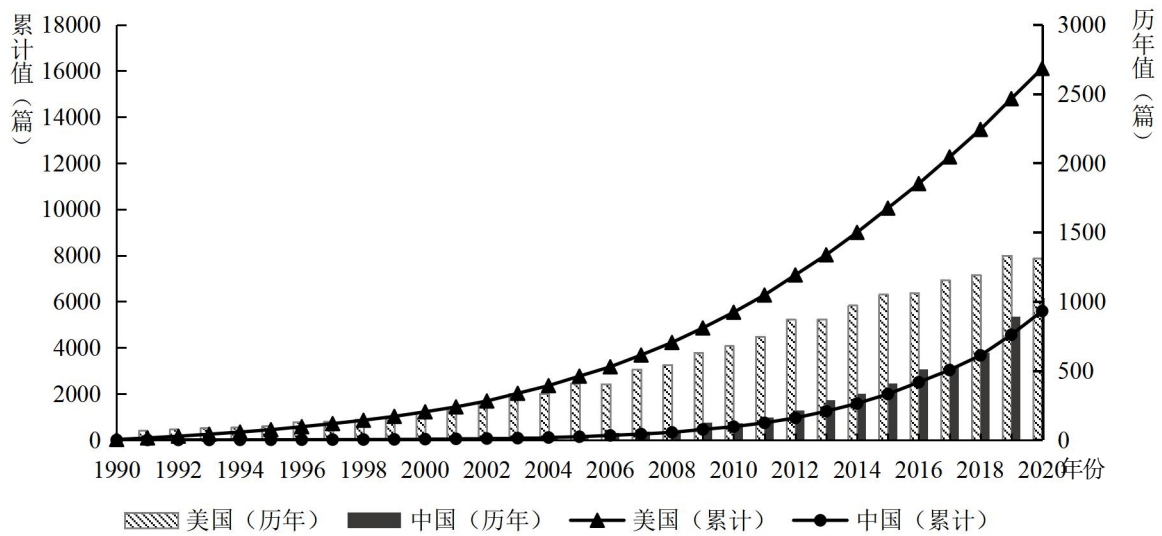


图5 中美智慧育种论文数量的比较

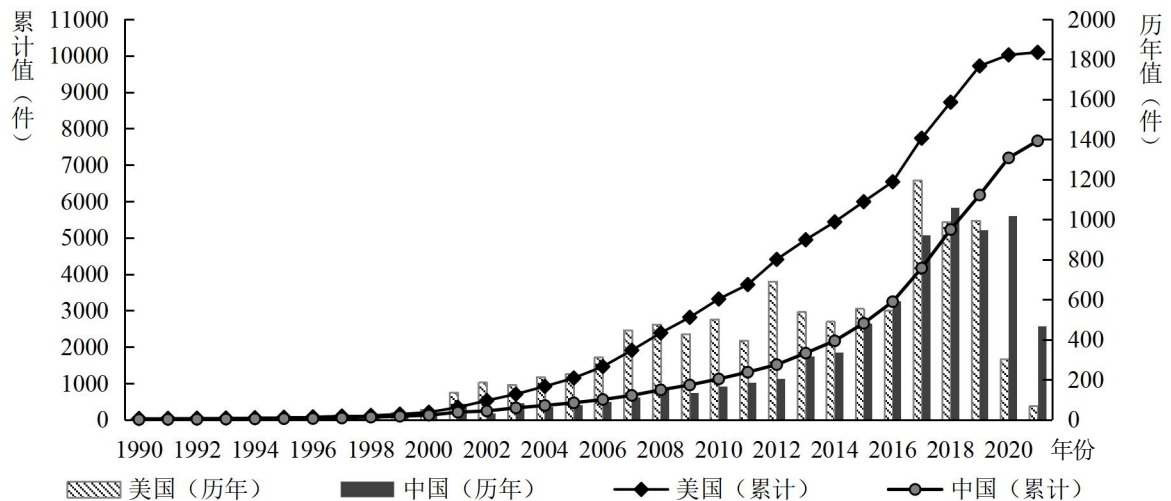


图6 中美智慧育种专利申请数量的比较

注：专利申请信息要在18个月至3年后才逐步公开，因此2018—2020年数据不能充分反映真实情况。

（三）育种人才培养面临“卡点”

中国育种科研领军人才大部分是在国外培养的。随着美国等西方国家对中国科技的遏制、对人才流动的限制，未来人才培养及其知识更新恐成为“卡点”。中国生物育种科技的快速发展主要得益于大量海外留学人才的回归，特别是生物育种前沿技术的领军人才绝大多数是从海外引进的。比如，李家洋、邓兴旺、朱健康、张启发、韩斌、赖锦盛等最优秀的生物育种科学家都是国外培养的人才。中国科学院遗传与发育研究所从事育种相关研究的研究员 92.6%均有海外留学、访学经历^①。美国等西方发达国家仍占据生物育种科技人才培养的绝对领先优势，在 2021 年全球大学 QS 专业排名中，生物学类前 25 名均为国外大学，其中 14 所为美国大学。2017 年以来，美国政府多次宣布限制中国学生进入美国大学 STEM 类专业学习，在美国国土安全部公布的 STEM 专业列表中就包括农作物、园艺作物和动物育种，欧洲等发达国家也有跟进限制中国学生进入科技类专业学习的趋势。因此，未来可能会由于生物育种领域交流、学习、合作的限制，导致从海外引进、培养相关领域的人才日益困难，难以通过人才的培养、交流获得最前沿的生物育种理论、方法等知识更新。

（四）中国进口农产品被限制使用相关技术的“卡点”

中国种业专利的海外布局不足，极端情形下如果美国限制使用其专利的农产品出口到中国，将导致中国进口农产品的供应链中断。2020 年中国大豆 83.7% 依靠进口，进口大豆 97.3% 来自巴西、美国、阿根廷^②，这些国家均采用包含孟山都抗除草剂技术专利的转基因大豆品种。而中国育种技术的海外专利较为缺乏，难以短期内形成自主知识产权的替代品种保障供应链安全（陈燕娟等，2013）。在生物育种技术方面，中国通过世界知识产权组织申请的专利仅 521 件，美国达到 4274 件。而且相比欧美在中国积极进行专利布局，中国在主要农产品贸易伙伴国申请的专利很少。美国和德国在中国申请专利分别为 1599 件和 767 件，而中国在美国和德国申请的专利仅分别为 183 件和 2 件。在巴西、阿根廷、加拿大、俄罗斯和澳大利亚，中国申请的专利分别仅为 12 件、4 件、10 件、3 件和 10 件，而美国分别为 668 件、323 件、521 件、209 件和 647 件，德国分别为 180 件、103 件、136 件、38 件和 39 件。

三、中国种业科技自立自强主要“卡点”的体制机制性原因

在中国种业科技自立自强主要“卡点”背后，存在着深层次体制机制性原因。这些体制机制性原因主要集中在种业创新投入、创新体系结构、产业体系结构、创新政策环境以及人才培养等方面。

（一）创新投入不足与投入结构不合理

一个优良品种的开发往往需要几年甚至十几年的持续投入。国际上一个生物育种品种的平均研发投入为 1.36 亿美元，其中基因发现和性状功能鉴定的投入占比达 23%，测试验证投入占比达 51%，周期平均需要 13.1 年（McDougall, 2011）。除水稻、小麦品种外，中国政府和企业对育种的创新投入

^①数据来源：本文作者对中国科学院遗传与发育研究所的调研。

^②数据来源：《中国农产品贸易发展报告 2021》。

力度明显不足，尤其是企业规模小、实力弱，对后端产业化开发的投入力度与国外种业公司差距巨大，制约了其承接大学、科研院所创新成果进行产业化开发的功能。2019年拜耳作物科学事业部年度研发投入超过23亿欧元，其中种子与性状研发方面的投入超过12亿欧元；科迪华农业科技公司的研发投入为11.47亿美元。而2019年中国规模种业企业（注册资本≥3000万元）的研发投入累计才36.05亿元，其中10家A股上市公司的研发支出仅为6.69亿元人民币（农业农村部种业管理司等，2020）。从投入结构看，中国在基因性状功能鉴定和测试验证方面的投入比例明显偏低。对基因性状功能的挖掘不足、品种环境适应性试验不充分，制约了中国品种综合性能的提升。

（二）育种科研力量各自为战、难以整合

种业科技创新链条长、关联学科多、涉及主体多、受时间空间影响大，需要多方协作、各环节配套、各地方联合来系统组织推进。尤其是在中国种业科技创新基础薄弱、创新资源分散、创新主体势力不强的条件下，要适应种业科技跨学科、全产业链综合集成创新的新趋势和新要求，中国需积极利用举国体制优势聚力整合资源，推进从种质资源搜集鉴定、前沿育种技术研发到大范围扩繁制种与区域试验的全流程跨部门、跨区域的大协作科技攻关。

美国等种业强国在育种科研和产业应用的不同环节，形成了国家种质资源库、大学、公益性研究机构同商业公司紧密衔接的分工协作。拜耳、科迪华等跨国种业公司，本身掌握大量种质资源和全球顶尖的育种专家，并在全世界广泛布局育种试验基地，形成了以行业龙头企业为主导的全球种业创新资源整合机制。中国曾经在育种领域建立起以政府为主导、全国大协作为主要形式的举国体制。在协作过程中，各单位集中抽调人力物力资源、无私交流种质资源与技术成果，个人利益服从国家需要。这种举国体制的特点是强调科研工作的全国一盘棋，尽管存在对个人创新积极性认识与激励不足等缺陷，但能够组织多单位、多学科、多层次就重点品种、重大技术开展协作攻关，“集中力量打歼灭战”，取得了三系法杂交水稻育种技术等一系列重大创新成果。

中国20世纪80年代以来推行的农业科技体制改革促进了科技与经济的结合，提高了科研机构的自主性，激发了科研人员的创新活力，但原有举国体制的组织协调优势难再发挥。一是科研单位、项目负责人被赋予了更多自主权，但各个科研院所甚至各个课题组却陷入各自为战的局面。中国种业相关的公立科研机构包括中国科学院系统22个涉农研究所、中国农业科学院系统47个相关研究单位、中国水产科学研究院20个相关研究单位、61家涉农高校，以及各地省、市级农科院所。以水稻育种为例，就有中国农科院下属的中国水稻研究所，湖南农科院、安徽农科院等地方农科院下属的水稻研究所，以及涉农高校下属的水稻研究所等。全国布局的农业院所本来是中国农业科技创新的优势，但过于强调各自自主发展，使各家分立、分散的机构难以结成协同的创新网络和高效能的创新系统。二是国家和地方科研资源缺乏有效整合、科研项目缺乏系统设计。科研资金被分散到众多研究主体，在项目竞争压力下，相互之间的合作貌合神离，信息交流、育种资源共享不充分，大量研究属于低水平重复，造成科研资源的巨大浪费。三是为促进产学研合作，政策上鼓励科研人员创业，却加剧了行业的分散性，也影响了科研人员与种业龙头企业合作的积极性。各家研究单位、各个课题组甚至研究人员个人创立众多小种业企业，有的甚至开发一个品种就创立一个公司，未能统筹考虑对市场的合理布

局和系统开发，容易导致市场恶性竞争。个人利益最大化目标的驱动，使得科研人员更愿意自己办公公司转换成果，或者一次性转让成果，而不愿意与龙头企业长期紧密合作开发，带来新品种市场应用不成熟的问题，包括品种不适应需求、缺乏关联生产技术配套以及后续服务跟不上等，科研人员创立企业的活跃生命周期也较短。此外，中国种业企业研发能力和经济实力均较弱，无力以市场化机制引进高层次人才，实现种业研发资源的协作和整合。

（三）创新链脱节断链、创新成果产业化转化难

全球育种创新的一个显著特征，是以企业为创新主体，而中国的种业创新却是以大学、科研院所为主体。从全球专利申请人的排名看，科迪华（原陶氏杜邦）、原孟山都、先正达、拜耳、巴斯夫五大跨国公司占绝对优势^①，合计专利申请数达到 14060 件。中国科学院、中国农业科学院、中国农业大学、浙江大学和西北农林科技大学虽然分别位居全球第 6 至第 10 位，但合计专利申请数仅 2076 件。尽管中国化工集团收购先正达使中国企业创新实力得到加强，但短期内难以改变中国种业专利以科研院所为主的格局。在中国累计申请的专利中，大学和科研院所占 60%，企业仅占 33%。美国的专利申请以企业为主，进入全球专利排名前 17 位的大学和科研院所只有加州大学。科研院所缺乏开发下游应用环节基因性状功能的积极性和投入能力，企业参与创新不足，是制约中国种业发展的关键。

以企业为主体的创新体系，其研发活动是以实用为导向，而中国以科研院所为主的创新体系则是以论文为导向。种业企业的研究方向主要是实用导向的抗虫、抗除草剂、养分利用、性状功能等，着力解决生产中的实际问题。而科研院所的研究方向则有明显追逐热点问题、追求理论化形式、迎合项目需要的特征，科研人员的目标相当程度上是为了申请项目和发表文章。科研项目主要来自于政府资助，政府资助项目的方向主要由院士专家提出建议，因为对实际问题和需求缺乏足够了解，不能很好地切合现实需求，有实用需求的方向往往得不到资助，研究与应用脱节使创新成果缺乏实际应用价值和市场前景。以论文为导向的科研评价机制和不充分的创新收益分享机制也使科研人员不愿意与企业共同从事后端的产业化开发研究，而目前中国企业的科研能力尚不足以支撑产业化前期共性技术和中试试验开发，因为中间链条的断链而难以实现转化应用。在欧美种业创新强国，企业与大学、科研院所是紧密合作的，相当部分研究是由企业资助并提出研究方向，研究成果的优先序也是先注册专利、再发表论文，并在知识产权价值分享的基础上与企业联合进行产业化应用开发。

（四）种业企业小而分散、创新能力不强、育繁推一体化机制不健全

全球种业兼并重组加快，种业已进入到规模化、一体化发展的新阶段，产业的集中度和一体化程度大幅提高。与国际种业的发展相比，中国种业还存在明显的差距。

一是产业市场集中度低。国内种业企业同质化竞争激烈，行业集中度持续下降。从市场占有率看，

^①五大公司的申请专利数是基于并购、调整前的统计。陶氏杜邦已将所有农业相关业务剥离出来成立独立的科迪华。拜耳已收购孟山都，剥离蔬菜、花卉、棉花等种子业务给巴斯夫，但由于这些收购和调整后的专利归属细节不明，本文未做相应调整。Crop Design N V 是巴斯夫旗下的功能基因挖掘公司，其专利并入巴斯夫。

2019年中国种子企业CR5^①仅为9.6%，而全球CR5已高达53.1%。其中，隆平高科最高，但市场占有率仅为3.7%；垦丰种业和荃银高科分别只有1.8%和1.5%；登海种业和农发种业位列第四、第五，分别为1.3%和1.2%（农业农村部种业管理司等，2020）。中国玉米种业市场更为分散，国内现有经营玉米种子的企业1587家，其中前三强企业全国市场占有率仅为4.36%。而国际种业经过激烈市场竞争与淘汰兼并，已形成以拜耳、科迪华、先正达等少数跨国生物科技公司主导的寡头垄断格局。2019年，全球种子行业市场中，排名前几位的公司依次为拜耳（孟山都）、科迪华（陶氏杜邦）、先正达、巴斯夫、利马格兰，市场份额依次为23.2%、16.5%、6.7%、3.5%和3.2%^②。

二是品种集中度低。据全国农技中心对7种主要农作物分品种推广面积的统计，2019年推广面积在10万亩以上品种有2357个，其中1000万亩以上品种有10个。尤其玉米品种的分散化程度更高，与国际玉米品种集中度的差距更为突出。2016—2020年中国共审定玉米品种7337个，2019年推广面积在10万亩以上的玉米品种有915个。2019年前五大品种推广面积占全国种植面积的比重仅19.3%，为2000年以来最低水平，推广面积最大的郑单958仅占6.68%（农业农村部种业管理司等，2020）。国内市场玉米品种多、杂、乱，品种模仿严重、内部竞争激烈，这不仅分散了市场，而且导致种业企业获利能力低，削弱了企业的研发投入能力。相比之下，美国杜邦先锋公司占据全球玉米种子20%的市场份额，其先玉335进入国内市场5年就占据了全国1/10的玉米种植面积。

三是产业链一体化程度低。中国种业企业大多以销售公司为主，具备科研、扩繁制种、推广与技术服务能力的少；经营区域化小品种的多，实现全国范围广覆盖、经营全国统一大品种的少。2020年全国6393家种子企业中，有自主研发能力的企业不超过100家，有效经营范围覆盖全国的繁推一体企业仅有97家（农业农村部种业管理司等，2020）。而杜邦、孟山都等大型跨国公司，已实现从科研育种、扩繁制种到销售推广的纵向一体化，瞄准市场需求和实际生产需要进行靶向育种，使品种性状功能达到口感、营养、抗逆等理想目标，生产能够适应农户田间环境与农机农艺要求^③。并且，作为横跨多领域的综合性农业科技公司，推广销售的不仅是种子，还包括与种子相配套的一系列农化产品与农事服务，根据用户需求量身定制农场生产综合解决方案，并采取多种方式培训和教育农户（靖飞和李成贵，2011）。

（五）育种知识产权保护不充分、产业化激励不足

一是新品种认定标准低，对创新的保护不足。中国过去一直执行《国际植物新品种保护公约》（简称UPOV）1978年文本，而美国、欧盟、日本等主要发达国家成员均早已执行UPOV1991文本。UPOV1991文本制定了实质性派生品种保护规则，强化了对原始品种育种者的保护。中国2021年修订《中华人民共和国种子法》后才成为国际植物新品种保护联盟中第69个实行实质性派生品种制度

^①CRn（行业集中率）是指某行业的相关市场内前n家最大的企业所占市场份额的总和。

^②数据来源：《2021年中国种子安全研究报告》，<https://bg.qianzhan.com/report/detail/2107141544484029.html#read>。

^③例如，美国杜邦公司先玉335品种就具备收获前籽粒自动干燥的性状特点，方便机械化采收籽粒。

的国家^①。由于中国长期以来保护标准低、保护范围窄，导致模仿创新对原始创新产生挤出效应，雷同品种多、优质原创品种少。农业农村部科技中心利用国家标准《植物品种鉴定 MNP 标记法》检测了 4994 个申请保护的水稻品种，若将遗传相似度大于 90% 作为阈值，存在实质性派生关系的占 55%；检测的 3208 个申请保护的玉米品种，存在实质性派生关系的占 34%（刘振伟，2022）。更严重的是，由于品种权保护取证难、鉴定难、执行难，侵权成本低，维权成本高，造成国内市场窃取、仿冒泛滥。品种侵权现象普遍，导致对育种家和育种企业创新的激励不足，愿意投入时间和精力开发原创性品种的越来越少，而通过边际改良开发新品种快速投入市场的越来越多，使得品种原创性不足、综合性能不高、环境适应性较差。此外，这给引入优异特质品种带来负面影响，跨国种业公司已将中国划为严格限制先进新品种流入的“红区”，中国也难以通过引进最新的品种来提高生产性能（李菊丹，2019）。

二是生物育种产业化进展缓慢，创新价值难以实现，抑制投入发展的积极性。2020 年 12 月召开的中央经济工作会议和 2021 年中央“一号文件”均提出：“尊重科学、严格监管，有序推进生物育种产业化应用。”但支持生物育种产业化的配套政策尚未出台，科研人员专注生物育种前沿和关键技术创新仍有所顾虑，种业企业投资生物育种产业化开发的积极性仍然不高，能够形成有良好综合性能和经过成熟试验验证的生物育种品种还非常有限。

（六）缺乏培养交叉学科、跨界人才的机制和环境

未来生物与信息技术融合发展的趋势将更加明显，在育种 4.0 时代更需要多学科的复合型人才。智慧育种是跨学科、多交叉的技术体系，涵盖生命科学领域的基因组技术、表型组技术、基因编辑技术、生物信息学、系统生物学、合成生物学以及信息领域的人工智能技术、机器学习技术、物联网技术、图像成像技术等，需要将数据信息采集、分析和模拟嵌入融合到育种创新的全流程中，对多学科人才和学科交叉研究能力要求较高。但中国大学和研究所的智慧育种研究刚刚起步，大多还停留在引进相关设备阶段。在组织功能上，各相关研究机构尚未建立起专业化的育种大数据研究支撑部门；在人才结构上，难以吸引最优秀的信息科学人才，缺乏既懂生物育种又懂信息技术、既懂作物栽培又懂工程技术、既懂软件编程又懂硬件设计的复合型人才；在创新实践上，面临数据采集缺乏标准化和系统性、数据整合共享不足、设备的适用性不强、先进的数据挖掘方法尚未能充分应用等问题。

以品种为牵引的综合技术集成是未来农业生产力提高的必然途径，良种良法相配套越来越成为种业推广的要求。但中国种业的市场推广仍以产品销售为主，还未能形成支撑良种实现综合性状最优化的技术服务体系，相应地能够将品种技术与相适应的农业生产技术集成融合的机制和人才非常缺乏。受消费者需求变化、生产组织方式变化以及应对气候变化挑战等多重影响，种业创新正在由技术驱动为主向市场驱动为主转变。尤其是进入定向设计育种时代后，新品种需要以需求为导向进行设计，新品种市场推广的效果取决于对需求变化趋势的准确把握程度，而中国在种业领域既懂技术又懂市场的人才非常缺乏。

^①详见《刘振伟：保护原始创新，打好种业“翻身仗”》，<http://www.people.com.cn/32306/436854/436906/436970/index.html>。

四、突破中国种业科技自立自强主要“卡点”的政策思路

实现中国种业科技自立自强必须瞄准主要“卡点”，针对突出矛盾和关键制约因素，系统谋划种业创新体系和创新环境建设方案，综合施策打一场漂亮的种业翻身仗。

（一）完善种质资源的收集鉴定、扩繁利用机制

一是加大种质资源搜集保存力度，不断扩大优质种质资源的库存量。开展国内动植物和微生物种质资源普查，加强对国内地方、特色、珍贵种质资源的保护和繁育以及研究力度。积极引进国外优质种质资源，充分利用政府间协议交换、企业和个人合作交流等多种渠道引进种质资源，支持国内种业企业在全局布局种质资源收集、保存和研究力量。对种质资源的引进实行便利化的检验检疫和入关流程，充分发挥海南自贸港全球动植物种质资源引进中转基地的功能，支持先正达、隆平高科等种业企业将其海外优势种质资源引进国内。

二是加强对种质基因性状功能的精准鉴定，建立完善的种质资源性状数据库和优质品种扩繁利用机制。创新种质基因性状功能联合鉴定评价机制，通过招标、定向委托等方式联合大学、科研院所开展性状功能的精准鉴定、利用评价、特殊性状优异材料的研发创制工作，丰富完善种质资源数据库。联合地方种质资源库和相关科研力量组建全国性协作组，分地区、分品类围绕产业发展需求，针对性开展相关性状的精准鉴定和深入评价。建立全国统筹的种质资源交流协作平台。根据鉴定评价结果，筛选构建核心种质群，与种业龙头企业合作推进优质核心种质资源的扩繁和特殊性状优异材料、不同遗传材料的创制，扩大开放共享，增强种质资源供应服务能力。强化种质资源库的公益服务职能，对种质资源库的评价不以论文和其他科研产出等作为标准，而应以创制和分发种质资源、对创新体系的支撑服务作用为导向。

（二）以新型举国体制构建全产业链种业创新体系

一是以新型举国体制突破战略前沿和关键核心技术研究。抓紧建立聚焦种业创新的国家实验室，以此为平台，整合多层次科技资金和分散在各机构的科研人才，加强对基因编辑技术、高效制种技术等“卡脖子”技术的协作攻关，加快布局表型组技术、基因芯片、种子微切、大数据与智慧育种等前沿空白领域，努力创立自主的育种技术方法体系、突破“卡脖子”环节、填补关键技术空白以及抢占新一代育种技术的前沿高地。加快创建种业领域的国家实验室，加大国家生物育种科技重大专项支持，鼓励地方相关科研项目协同支持本地科研人员参与国家种业实验室的项目，建立起国家和地方种业相关科研资金的集中投入机制，支持以重点攻关目标为导向整合科研项目资金，以稳定支持、长效评价、柔性管理的方式支持原创方法、原创工具和原创材料研究，以揭榜挂帅的方式支持具体目标导向的研究任务，形成适合不同类型研究的多元化、多层次科研资助机制。采取任务导向的委派机制组织国内最优秀的专家和企业开展联合攻关，立足于服务总体攻关目标的实现，加强任务协同，建立分岗、分责的多元化评价考核体系，对应用技术、数据及模拟、测试试验等不适合以文章、专利呈现工作成果的支撑性服务，应以工作任务完成进度、质量等进行评价考核，强化对产业化应用成果的认定，并提升其绩效考核权重，促进实现各个团队、各类人才各展其长的全国大协作。

二是重塑以企业为主体的全产业链种业创新体系。聚焦种业创新的国家实验室应根据不同的产业应用方向与企业成立联合技术研发中心,以此为基础支持龙头企业分领域创建国家种业技术创新中心,以企业实用性需求为导向进行共性技术开发以及产业化的试验评价、环境模拟等。考虑到中国种业企业实力还不够强,难以独立支撑新品种开发,可由财政投入、种业企业、投资机构等联合出资设立种业创新基金,以企业提出的应用需求为导向设立专项,向国家实验室和种业技术创新中心发起研究任务招标,推动建立包括资源收集、基因发现、功能鉴定评价、基因标记、材料创制、选系组配、测试比较等在内的专业化分工的全链条创新流水线。强化国家实验室与各专项品种技术创新中心体系有机衔接,形成国家实验室前沿引导和难题突破、技术创新中心产业化开发的分工协作,建立健全技术创新中心产业化成果收益的分享与反哺机制,强化对各环节相关科研人员的创新激励,以利益共享机制强化基础研究、应用开发、试验评价、数据模拟等创新链的组织效率。

(三) 强化产业整合优势,支持种业企业做强做大

一是引导产业整合,支持种业企业做强做大。加强行业管制,改变当前种业市场小、散、乱的局面。渐进式提高行业门槛,有序将育繁推一体化作为种业经营的行业准入标准,强化种子企业对其推广品种指导种植的责任,加大对因种子质量问题、技术指导不到位造成生产者损失的追责赔偿,逐步淘汰创新不足、技术不强、服务不力的企业。支持企业兼并整合,做强做大、做专做精,打造一批具有较强创新能力、产业带动力的领军企业,提升企业品牌影响力和市场竞争力,提高企业和品种集中度。

二是加强综合服务,提升产业链整合能力。引导种业企业通过延伸服务、合作服务、横向一体化整合等方式,完善与种子相配套的农机、农艺、田间管理等综合服务体系,促进良种良法配套,建立起以种子为核心的成套技术解决方案。支持种业企业通过延伸发展、与各类农业技术服务组织深度合作等多种形式,强化对农户和各类新型农业经营主体的嵌入式服务支持,提供从种子销售、播种、田间管理、收获到销售等的指导、技术支持和托管的全方位全过程的个性化服务。一方面通过服务强化客户粘性,增强种业企业的市场竞争力,另一方面通过深度服务,实现对销售品种生长过程的全程监测,基于生产实践数据的分析及时发现新问题和新需求,进一步强化研发与实际生产的良性互动。

(四) 加快布局育种 4.0,构建适应智慧育种的研发体系

一是加强智慧育种基础平台建设,推进向育种 4.0 升级。加快布局建设多维组学大数据与分子设计育种重大科技设施,在各重点实验室、重点育种基地装备高通量、自动化、智能化的动植物表型采集系统,实现在田间和人工可控环境下表型数据实时采集,构建全生育期、多尺度、多生境和多模态表型大数据,为种业精准设计、精准组装、精准测试提供可靠的基础数据支撑。依托国家种业实验室建设智慧育种大数据研究中心,建立育种数据采集和标记的标准化规范,系统采集、分类、储存、分析各育种基地、各研究机构的各类育种相关数据,提供数据分析、建模、优化算法以及智能辅助设计育种等支持服务。建立基因组、转录组、代谢组、表型组大数据决策分析平台,整合数据资源开展多维组学分析、解码基因功能,揭示基因型-表型-环境交互作用关系,强化对基因功能、表型性状鉴定的有效支撑;开展基于组学大数据的结构-功能模拟研究,构建基因型-表型-环境多维大数据驱动的精

准育种决策、理想株型的智能设计系统，为育种科学家提供高效的智慧育种决策支持服务。

二是建立国家育种大数据平台，推动育种数据资源的整合。由智慧育种大数据研究中心负责国家育种大数据平台运行维护，要求各级政府资助科研项目的育种相关数据导入平台，系统收集国内外公开发表论文的基因组、表型组等数据，将种质资源及其遗传信息、表型图像、农业环境以及农事操作等信息进行数字化、标准化整理，实现对各相关研究机构和重点育种基地的种质资源、基因组测序、转录组测序与分子标记、代谢组、作物表型监测、田间生长与环境等数据的充分整合。构建互惠共赢的数据开放共享机制，通过以数据换数据、以服务换数据、资助性状功能鉴定评价与数据标记以及购买数据等多种方式，引导种业企业共享数据，引入国际育种数据资源，丰富数据来源，并不断优化育种数据质量和结构。

三是创新人才引进和管理机制，促进交叉学科融合创新。对智慧育种大数据研究中心人才给予特殊薪资待遇，采取以算法精准识别效果、模型契合效果、服务支撑质量与效率等实用性标准对人才进行考核评价和职称评定，吸引一批高水平的数据科学家，提升基因型-表型-环境多维大数据算法优化和智能模拟分析的能力。设立协调沟通岗位，选拔具有交叉学科背景的专业人才，负责沟通协调各专业领域合作研发的相互需求。加强生物信息学学科建设，设立生物育种与信息科学的双学位，培育一批具有交叉学科背景的新型育种人才。建立与超算中心、云平台的合作研发机制，强化运算能力和数据传输效率对生物育种海量数据分析的支撑。

（五）优化种业市场环境，健全种业创新市场激励机制

中国种业已从品种引进、简单仿制逐步转向自主创新的新阶段，需要改变过去那种为便利引进利用而弱化知识产权保护的做法。应通过加强种业知识产权保护，理顺种业创新价值的实现机制，以创新链推动产业链，以产业链拉动创新链，促进产业链和创新链深度耦合。

一是加强种业知识产权保护的配套技术和执法手段。《中华人民共和国种子法》和《中华人民共和国植物新品种保护条例》的修订，已经将UPOV1991文本的实质性派生品种保护规则引入。建议配合法律的修订，具体明确各类产品实质性派生品种的标准，特别是在对实质性派生品种的保护方面，必须做到相关条款语义明确、可执行性强。加强对相关部门完善技术检测方法的支持，充分发挥基因检测和大数据技术在新品种审定和查处知识产权侵权等方面的作用，加大打假执法和惩处的力度。

二是优化品种审定和管理制度。修订现行主要农作物品种审定标准，提高育种独创性要求，加强企业自主研发品种保护，在新品种审定环节尽可能排除低水平模仿的品种。逐步清理已审定品种中的高仿品种，引导缺乏实质创新的品种有序退出市场，更多向体现自主、高水平、高价值创新的品种倾斜。

三是完善多层次的种业知识产权转让制度，强化对育种创新的激励。建立生物育种功能基因、育种方法等专利技术、育种材料、种质资源的产权交易和交换交流机制，促进育种各环节创新资源的活跃流动和自由组合，以市场化机制提高联合创新效率。通过优化大学、科研院所的激励机制，确保育种科学家能够通过创新技术的产权交易获得创新收益。

五、结论

中国政府已认识到实现种业科技自立自强的重要性和紧迫性，正为此而采取行动。要有效实现种业科技自立自强，必须通过与种业科技发达国家的比较来识别制约中国种业科技自立自强的主要“卡点”，分析这些“卡点”背后的体制机制性原因，针对这些原因提出相应的政策思路。

本文通过对中国育种科学家、种业企业以及国家作物种质库的深度调研访谈，并利用论文和专利大数据对中国种业创新全链条进行系统的诊断分析发现，中国在种质资源的数量、结构和开发利用上与发达国家相比仍有较大差距，在前沿核心技术、重要实用技术和关键育种设备上存在明显短板，在育种人才培养上高度依赖国外，在重要农产品进口来源国的专利布局不充分。这些短板弱项都可能成为中国种业科技自立自强的“卡点”。之所以形成这些“卡点”，原因主要在于中国种业创新投入不足与投入结构不合理、育种科研力量各自为战、创新链条存在脱节和断链问题、种业企业创新能力不强、育种知识产权保护和激励不足等。促进中国种业科技自立自强，需瞄准这些主要“卡点”深化体制机制改革，着力破除关键制约因素，系统谋划种业创新体系和创新环境建设方案。应以新型举国体制构建全产业链种业创新体系，完善种质资源的收集鉴定和扩繁利用机制，支持种业企业做强做大并强化产业整合优势，加快布局智慧育种的研发体系，健全种业创新市场激励机制。

参考文献

- 1.陈燕娟、袁国保、秦路、邓岩，2013：《我国种业知识产权海外布局战略研究》，《农业经济问题》第4期，第95-101页、第112页。
- 2.戴景瑞、鄂立柱，2010：《我国玉米育种科技创新问题的几点思考》，《玉米科学》第18期，第1-5页。
- 3.盖钧镒、刘康、赵晋铭，2015：《中国作物种业科学技术发展的评述》，《中国农业科学》第17期，第3303-3315页。
- 4.郭庆华、杨维才、吴芳芳、庞树鑫、金时超、陈凡、王秀杰，2018：《高通量作物表型监测：育种和精准农业发展的加速器》，《中国科学院院刊》第9期，第940-946页。
- 5.金京波、王台、程佑发、王雷、张景昱、景海春、种康，2021，《我国牧草育种现状与展望》，《中国科学院院刊》第6期，第660-665页。
- 6.靖飞、李成贵，2011：《跨国种子企业与中国种业上市公司的比较与启示》，《中国农村经济》第2期，第52-59页、第73页。
- 7.靖飞、王玉玺、宁明宇，2021：《关于农作物种源“卡脖子”问题的思考》，《农业经济问题》第11期，第55-65页。
- 8.孔祥智，2021：《必须彻底解决种质资源“卡脖子”问题》，《农村工作通讯》第6期，第55-57页。
- 9.李菊丹，2019：《我国农业植物新品种保护问题与对策研究——以品种权申请授权数据统计为基础进行分析》，《知识产权》第5期，第70-82页。
- 10.刘振伟，2022：《努力提高种业知识产权保护法治化水平——关于〈中华人民共和国种子法〉修改》，《农村工作通讯》第1期，第20-24页。
- 11.农业农村部种业管理司、全国农业技术推广服务中心、农业农村部科技发展中心，2020：《2020年中国农作物种

业发展报告》，北京：中国农业科学技术出版社，第 54-74 页。

12.宋秀芳、魏雪梅、郑丽丽、赵亚娟、张可心、刘春光、胥伟华，2020：《基因编辑的技术分析与思考》，《中国科学院院刊》第 12 期，第 1510-1524 页。

13.王向峰、才卓，2019：《中国种业科技创新的智能时代——“玉米育种 4.0”》，《玉米科学》第 1 期，第 1-9 页。

14.郑怀国、赵静娟、秦晓婧、贾倩、齐世杰，2021：《全球作物种业发展概况及对我国种业发展的战略思考》，《中国工程科学》第 4 期，第 45-55 页。

15.种康、李家洋，2021：《植物科学发展催生新一轮育种技术革命》，《中国科学：生命科学》第 10 期，第 1353-1355 页。

16.McDougall, P., 2011, “The Cost and Time Involved in the Discovery, Development and Authorisation of A New Plant Biotechnology Derived Trait: A Consultancy Study for Crop Life International”, https://croplife.org/wp-content/uploads/pdf_files/Getting-a-Biotech-Crop-to-Market-Phillips-McDougall-Study.pdf.

(作者单位：¹ 国务院发展研究中心农村经济研究部；

² 中国科学院科技咨询战略研究院)

(责任编辑：胡 祎)

The Main “Stumbling Blocks” and Policy Suggestions for China’s Seed Industry to Achieve Self-reliance and Self-improvement in Science and Technology

CHENG Yu YE Xingqing NING Xia YIN Haodong WU Zhenjun CHEN Kaihua

Abstract: This article conducts a comprehensive diagnosis of China’s seed innovation system through in-depth investigation and interviews with breeding scientists, seed industry enterprises and National Crop Germplasm Banks. The big data analysis on scientific papers and patents indicates that there are four “stumbling blocks” restricting scientific and technological self-reliance of China’s seed industry in the four fields of germplasm resources, breeding technology, breeding talents and overseas layout of technology patent. In terms of innovation system, there are some constraints in China, such as insufficient R&D investment and unreasonable structure, segmentation of research agents and disconnection of innovation chain, weak innovation ability of seed industry enterprises, and insufficient protection of breeding intellectual property rights. To promote the self-reliance and self-improvement of China’s seed industry in science and technology, it is necessary to aim at solving the above-mentioned “stumbling blocks” and strive to break through the key constraints. It highlights the necessity of establishing a whole-chain seed innovation system with China’ new type of whole nation system with concentrated efforts, improving the collection, identification, expansion and utilization mechanism of germplasm resources, supporting breeding enterprises to become stronger and bigger and strengthening the advantages of industrial integration, speeding up the construction of smart breeding R&D system, and improving the incentive mechanism of seed industry innovation market.

Keywords: Seed Science and Technology; Self-reliance and Self-improvement; Stumbling Block; Innovation System