

全球种业趋势及中国种业创新发展建议

程华¹, 王刚毅^{2*}

1. 中国国际经济交流中心, 北京 100050

2. 东北农业大学经济管理学院, 哈尔滨 150000

摘要 分维度分析全球种业发展及研究趋势、关注热点及争议焦点, 对比发现目前中国种业的理论创新研究及实践创新探索深化程度不足、前瞻性不够。针对中国种业面临的基本现实挑战, 提出了系统开展准公共品公开化方案、种企横纵向收购边界、种业协同创新机制群、社会资本及保险参与创新链制度、转基因系列社会调查、种质资源引进交换策略等方面理论创新及实践探索的具体举措。

关键词 全球种业; 中国种业; 种业创新

党的二十大报告中指出“健全新型举国体制”, 强调尊重科技创新规律和市场经济规律破除“卡脖子”威胁的重要性与迫切性; 同时指出“深入实施种业振兴行动”。2022年中央农村工作会议再次强调“抓住耕地和种子两个要害”“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”, 2023年中央一号文件专门对“深入实施种业振兴行动”作出详细布局部署。中国种业的创新发展, 有利于全面推进乡村振兴, 促进农村农民共同富裕, 具有重大战略意义。一是能够保障粮食安全, 维护国家战略安全。当前国际环境日趋复杂, 贸易保护主义抬头, 新冠肺炎疫情影响广泛深远, 全球粮食产业链供应链受到较大冲击, 以种业高质量创新发展提

升粮食及食物产业链供应链韧性和安全水平, 势在必行。二是能够夯实农业现代化, 推进中国式现代化。中国种业参与国际种业要素市场和种子商品市场的现代化竞争, 有其特定的背景条件、创新战略和发展路径, 这是中国式农业现代化的关键, 是推进中国式现代化的题中之义。三是能够构建现代产业体系, 加快建设农业强国。纵观全球, 农业强国必是农业科技创新强国, 以“种质资源+生物技术+大数据”的智能设计育种4.0时代, 种业创新驱动优质高效农产品的产出, 是建设现代农业产业体系及社会主义现代化农业强国不可或缺的抓手。四是能够把实施扩大内需战略同深化供给侧结构性改革有机结合。种业高质量发展及以需求为导

收稿日期: 2022-12-20; 修回日期: 2023-04-05

基金项目: 国家社会科学基金项目(22BJY084)

作者简介: 程华, 高级经济师, 研究方向为涉农产业链及产业链组织, 电子信箱: chenghua7771@163.com; 王刚毅(通信作者), 教授, 研究方向为农业产业经济, 电子信箱: awgy@cau.edu.cn

引用格式: 程华, 王刚毅. 全球种业趋势及中国种业创新发展建议[J]. 科技导报, 2024, 42(12): 193-200;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.12.01981

向的创新有效供给,有利于人民对农产品及农食品的内在需求体系与包括种子在内的生产资源要素供给体系的结构平衡,是持续深化供给侧结构性改革的必然选择。

中国种业产业化起步晚、积累弱,大致经历了起步发展期(1949—1977年)、快速发展期(1978—2011年)、现代发展期(2012年至今)^[1],也可以分为对外开放的4个阶段,即1978—1988“睁眼看世界”、1989—1998年高速发展、1999—2008年合资时代、2009年至今的种业新时代。系统梳理近年来国内有关研究进展,发现目前中国种业产业的技术创新、管理创新、服务创新^[2]都已经取得了显著成效,并逐步在研究探索深层次改革创新的“靶点”及策略,但产业治理制度及创新管理政策对创新链高效分工、创新人才吸引与潜能激发、育种目标科学确定、重大创新品种的开发、成果有效转化等的效能不足,多数生物育种的基础研究仍然处于“跟跑”阶段^[3],有效破除中国种业面临的挑战仍然任重道远。新发展阶段,亟待学习借鉴全球种业创新发展趋势、创新组织模式、创新治理新举措及关注热点焦点,基于中国国情、农情和种情研究探索中国特色的种业创新发展之路。

1 全球种业研究发展趋势

1.1 新品种创新趋势

自人类基因组测序完成以来,基因组工具和测序技术取得了显著进步,降低了育种创新成本并加快了育种创新进程,目前基因组数据和生物信息量的不断增长,使用跨学科的新技术、新方法,克服了传统育种的局限性,提高了遗传增益率,未来可能会改变植物育种的新理论、新范式^[4]。自美国1970年通过《植物品种保护法》(《The Plant Variety Protection Act》,PVPA)、1980年授权生物专利后,私营公司开始主导商业大豆品种开发及市场,公共部门转向基础和应用基础研究以及下一代植物育种人员的培养。目前,美国大豆已经在利用大数据分析预测未观察到的表型,更好解析基因间的相互作用,加速发现优良等位基因组合的基因组和表型,

未来探索大豆独特特性关键取决于遗传多样性、各种技术整合及下一代育种家和遗传家^[5]。2017年通过对欧洲种子供应网络的普查,发现欧洲本土种业主要由中小型企业组成,种子供应商和消费者支持种业发展并参与欧洲知识共享网络,这形成了欧洲以下游需求为导向的品种协同开发氛围,有利于满足日益增长的本土种子需求,加快实现欧盟2020年恢复15%的退化生态系统的承诺^[6]。德国通过小麦育种材料的交换加快品种改良,改善农业生产能力,发展适应气候变化的生产系统,保障全球粮食安全^[7]。埃塞俄比亚政府为充分挖掘大豆生产力,强调研发产量优势品种,而大豆种植者青睐更高的耐寒属性品种,选择偏好具有明显异质性,未来将实施以生产者需求驱动的育种创新和扩散战略^[8]。肯尼亚通过一项为期3年的西部玉米种业跟踪研究,发现以高度农业生态异质性为基础的育种创新才能够切实提高农民的产量和收入,未来将针对生态位需求进行适应性品种研发^[9]。智利反季节作物种子研发、生产和推广,有效解决了北半球种子生产短缺问题,2020年以来进一步加强对植物育种新技术的应用与管理,以保持智利作为未来植物育种生物技术创新热点的地位^[10]。

1.2 种业创新组织模式

为确保全球气候变化下农业可持续发展,未来作物改良战略必行,作物育种方向、农场采用情况和社会接受度是重要影响因素,需要全社会达成共识并协同应对^[11]。参与式植物育种(participatory plant breeding, PPB)是农民和正式育种家在育种过程合作,是一个具有高响应能力、高创造性和高灵活性的动态创新过程。以二者知识交流为基础,育种家针对不同气候培育更多品种,满足参与农民的需求,然而目前新品种未纳入正式的种子分配及共享系统,这与产权界定制度、利益共享机制有关,未来将出台适应性的创新管理体系,畅通PPB育种成果共享渠道^[12]。与集中关注农民采用新作物品种的研究不同,有国外学者通过对全球158名水稻育种家开展实证研究发现,鼓励育种人员承担风险,给予其开展试验和实施新技术的自由,能够促进快速采纳、转让和利用水稻育种新技术^[13]。近年来开

发了更精确高效的植物育种方法,育种工具箱变得更丰富,能够更快实现育种目标,欧洲对62家私营植物育种公司的调研,证实了公司对新育种技术具有巨大兴趣,但是欧盟现有监管不利于私人公司投资,未来将着力创造有利的投资环境^[14]。虽然1990年以来孟加拉国就出台政策吸引私营部门参与种业,但目前种子供应仍依赖进口,研究发现私营部门研发投资抗生物和非生物胁迫新品种的意愿很小,未来将取消对私营部门获取公共部门种质资源的限制,取消政府对私营部门开发新品种的强制性性能测试,以切实鼓励私营部门参与品种研发^[15]。通过收集肯尼亚种子企业、经销商以及农民种子选择去向的数据,发现非洲东部和南部在公共部门退出玉米种子生产的20年以来,玉米育种从农业食品价值链需求侧考虑较少,未来将以需求为导向,加强种业企业与零售商之间的营销合作创新和利益分享^[16]。

1.3 创新治理政策推进

基于新型基因组编辑技术的新育种技术(new breeding technology, NBT)应用以及专利更加复杂的趋势下,囊括专利、植物育种者权利和《生物多样性公约》等的要素,需集合到一个更开放的创新框架下,从根本上重新设计植物育种知识产权制度,将有利于缩短创新周期、鼓励创新,而且创新成果更具有包容性而非排他性,否则未来20年内育种科学家向农民和消费者提供新品种的动力将减弱,不能更好地应对气候变化^[17]。植物育种者权利(plant breeders' rights, PBRs)是一项重要的知识产权,在可持续发展时代对植物育种创新至关重要,但PBRs持有人不能阻止第三方利用其成果开发新品种。1991年国际植物新品种保护联盟(UPOV)认识到这种搭便车损害PBRs持有人利益的情况,引入“实质性派生品种”(essentially derived varieties, EDV),并在公约进行了一定保护。然而几十年过去了,EDV的概念需要重新界定及广化,才能保护PBRs持有人并形成激励,因此在最近修订UPOV公约的过程中,关于EDV概念的解释说明也已成为谈判焦点^[18]。目前欧洲在植物育种方面研发落后,主要原因是所有使用“新基因组技术”(包

括基因组编辑技术)获得的作物品种都要受欧盟严格的转基因(genetically modified, GM)法规约束,抑制了欧盟开展提高产量、提升气候适应性、匹配食品及饲料加工需要的新品种创新。因此,欧盟建立了一个更全面了解基因组编辑当前及未来在作物中应用的交互式、可公开访问的在线数据库,以提供最新证据支持欧盟植物育种创新政策的具体修订^[19]。同时,实际案例研究证明,欧盟未来应当让所有利益相关方参与植物育种政策及法律的制定^[20]。还有学者重点关注知识产权保护的有关法律制度对育种创新的激励作用以及对粮食安全与可持续发展的重要性^[21],如基于马铃薯探讨技术创新、公共资源与治理制度的相互促进、迭代发展^[22]。

1.4 针对转基因的监管

基因编辑技术能够在基因组中引入定点突变或缺失,利用这些技术改良的第一批作物正在接近市场,这引发了国际争论——是应该将它们作为转基因作物,还是仅仅作为常规育种下的另一种诱变形式加以监管^[23]。基因组编辑作物潜在效益明显,专家们对其所提供的优越农艺性能和产品质量达成共识。从农业技术应用的动机、挑战、潜在利益与担忧等演变历程看,现代生物育种技术供给及其产品的研究开发、风险评估和监督管理过程的透明度,是增加公众进一步认识其在农业中的作用认知及信任度的关键,也决定着现代生物技术工具在农业部门的命运及在不久将来数十亿人的生活^[24]。当前全球对转基因的一项重要共识是,为未来新型农业食品和饲料产品的安全考虑,可以降低下游产品评估、批准及监管的难度,但是要将安全设计方法引入上游育种生物技术(如基因编辑和合成生物学)中,并在生产工艺和产品层面朝着安全方向发展,以确保粮食和饲料供应安全^[25]。法国一项研究揭示了公众基于遗传育种技术原理的分类与目前遗传育种技术的科学分类有很大不同,公众首先区分了没有引起DNA序列任何变化的技术,并应用笛卡尔逻辑和自然主义逻辑对其他育种技术分类,这对食品创新政策和转基因生物立法有重要意义^[26]。目前,欧盟法院认为无论最终品种中是否存在外源DNA,定点诱变育种技术应与转基因作物

以相同方式进行监管^[27]。

1.5 对市场集中度的关注

经济合作与发展组织(OECD)收集了覆盖许多作物种类和许多国家种子市场集中度信息,发现不同种类、不同国家种子市场集中度差异很大,需要进一步跟踪研究全球种业兼并收购是否阻碍市场竞争、抑制创新潜力,目前还没有系统证据表明对价格或创新产生不良影响^[28]。市场集中度提高与育种技术快速发展下,全球种子市场主体存在明显异质性,有少数大集团也有许多中小企业,还有农民、农场主和公共研究部门,且不同品种的市场商品价值空间差异较大。目前关注的热点在于:有的人担忧市场过度集中,最大公司掌握过多权力,会对粮食安全有负面影响;其他一些人认为大型种子公司是具有创造力的,有能力为未来农业、食品和生物经济带来至关重要的创新^[29]。这一争议,有待于进一步分品种、分国家进行深入研究。

总体而言,全球种业研究发展趋势主要体现在以下4个方面:(1) 育种方法上,越来越注重育种新理论、新范式等基础科学问题的研究探索,逐步加强生物信息与大数据技术支撑下智能育种方法的开发利用,加快育种技术与工具的创新开发及利用推广;(2) 品种研发上,为应对全球气候变化,因地制宜地满足人们对多元化、个性化农产品及农食品的需要,更加注重适应气候变化、适合不同生态区域、以市场消费需求为导向的新品种创新以及转基因新品种的研发及推广;(3) 种子生产上,从关注种子产量转向种子质量——商品性状、农艺性状、抗生物和非生物胁迫性等,转向单一成分富集或功能显著的“专、精、特、新”重大专用特用种子的生产,更加注重新品种生产技术服务、机械化服务及营销推广;(4) 产业治理上,更加重视种子生产、农产品生产加工及消费主体在种业创新中的作用,协同打造“创新供需结构性衔接闭环”的品种开发、利用及推广体系,加快吸引私人部门投资上游育种基础研究在内的种业各环节,更加关注并注重引导公众对转基因的认知,强调创新成果及知识产权的保护、扩散和接纳等政策制度优化的及时有效性。

同时,从绿色革命提高产量和质量的生物育种

技术,到基因革命进一步提高产量、质量和抵御生物与非生物胁迫能力的生物育种技术,当前及未来一段时期,全球争议热点在于:其一,利用基因编辑技术创新的品种及农产品或农业食品的安全性,是否视为转基因食品,市场监管规定是否同转基因食品一样;其二,实质性派生品种的概念内涵与范围界定,以及如何确保植物育种者权利的保护制度及相关法规与时俱进;其三,国内或国际种子市场集中度过高是有利于还是抑制创新与竞争,是有利于全球粮食安全还是对粮食安全造成危机,应该如何更好地把控。

2 中国种业面临的挑战

当前中国种业处于育种研发以公共科研部门为主而种企参与不足的阶段,表现为“育繁推脱节、种企创新投入少、种子市场集中度低”等现状^[30],国际化发展面临着“全球垄断加深^[31]、跨国种业巨头冲击”的挑战^[32],国内发展面临着“育种资源分散、私人投资市场失灵、公共科研成果与市场需求匹配率低”的困境^[33]。按照种业从育种、制种到用种的链条顺序及配套服务,具体表现为:种业原始创新知识产权制度保护力度不足,研发主体创新动力不足,基础研究难以支撑育种核心技术^[3];种质资源储备和鉴定不足,系统性、规模化的种质资源整合不足,育种研发源头处于劣势^[3,34];市场监管不足,种企数量多但研发能力弱、市场竞争力不强,“走出去”国际化难度大^[3];生物育种产业化管理体制不健全,产业化进展缓慢,成为中国参与国际种业竞争的薄弱环节^[35];种业发展体制机制制约明显,种业各管理部门职能职责不清晰,尚未建立完善的种业科技创新体系^[30,35]等问题。无论被动还是主动,中国种子市场已然国际化,然而中国种业国际化发展及创新体系构建任重道远,主要体现在3个方面。

1) 种企市场占有率低,国际竞争力弱。根据农业农村部《2021年中国农作物种业发展报告》,2020年中国农作物种子企业有7372家,种企数量多、规模小,除先正达、隆平高科具有一定国际竞争优势外,其他企业国际竞争力普遍不强。从全球种

业企业销售额看,近年来前5名企业市场份额一直保持在50%以上。2021年,先正达的市场份额处于全球第3位,但仅为拜耳、科迪华两家国际巨头的34%、42%左右。隆平高科水稻、谷子、食葵种子业务全球领先,虽已跻身世界种业十强,但其销售额仅为拜耳公司的1/20。

2) 种业基础研究较弱,面临“卡脖子”风险。据农业农村部统计,中国农作物种质资源保存量超过54万份,位居世界第2,但优质、特异种质资源较少,且精准鉴定的资源少之又少,有效利用率远不足3%。功能基因组学等基础研究与国际先进水平差距较大,抗病、抗逆、品质、产量等性状形成的遗传机理研究不系统,关键基因和实用分子标记缺乏,基因编辑、合成生物学等原创不足,重要核心技术70%被美国控制。中国生物育种的基础研究仍处在“跟跑”阶段,原始创新和核心技术受知识产权的约束,处于被动地位。

3) 种业创新转化不足,创新链衔接不畅通。中国从2013年起种业高水平论文发表数量超过美国,且在作物分子育种技术方面已是全球领跑,然而中国种业高质量专利不及美国1/10。同时,虽然每年审定的新品种很多,但推广应用上具有绝对竞争力的重大品种很少。从论文发表量到专利授权量的减少,从审定品种多到推广品种少,创新链上下游环节之间,存在创新成果供给与需求的结构不匹配,价值在衰减^[36]。加之目前从基础研究到应用研究的技术集成创新环节投入不足,出现“断裂”,更加阻碍了成果转化。

综上,从国际种子市场快速转型、种业科技竞争愈演愈烈的未来发展形势看,当下中国种业在数量、质量、市场和行业4个方面存在安全隐患^[35],与种业发达国家对比,中国种业产业组织体系、种质资源开发利用体系、创新链分工协作治理体系等方面仍存在明显差距^[37]。

3 中国种业创新发展的建议

对标全球种业发展及创新体系构建的进展及趋势,基于中国种业发展研究现状,以创新体系构

建面临的挑战为导向,特提出中国种业应深入开展理论创新研究、实践创新探索的重点方向及抓手,针对创新链开展科学有效的制度安排与机制设计^[38]。这将有利于中国种业重大基础研究、关键技术、育种理论及重大品种等取得创新突破,有利于探索中国式种业现代化发展创新路径,有利于打造信息公开、评价公正、分配公平的高质量发展的中国种业体系,切实保障新发展阶段的国家粮食安全和重要农产品有效供给。

1) 注重知识产权保护制度优化,探索准公共品公开化的实施路径。针对创新链上游,包括种质资源收集鉴定、育种理论创新与工具开发、育种材料创制等,围绕具有战略性、基础性、正外部性且易于外部化扩散的创新成果,探索更有效的产权保护体系。深入研究分创新阶段、分主体类型的分工合作模式,针对不同创新主体、不同创新类型设定科学评价指标体系。通过知识产权权属制度安排与鼓励创新宽容失败的制度设计,畅通产权转让平台、渠道和流程,加快促进重大基础创新公开交易、共创共享,避免种业创新劣币驱逐良币、劣币贬值良币的逆向淘汰。

2) 加快探索种企横纵向收购边界,推动企业有序有效、可持续发展壮大。系统梳理国际种企巨头开展产业链横纵向收购的背景条件与演化进程,借鉴总结收购后促进业务融合的战略管理经验。结合中国育种、制种、售种及育繁推一体化发展的阶段特征,综合分析种企横纵向收购的战略考虑与经济效益,开展收购条件及收购策略探索。为中国种企基于内部管理成本、市场交易成本与国际化战略考虑的收购,提供相应理论支撑和经验借鉴,科学促进种企收购并购及育繁推一体化,合理提高行业集中度,推动其可持续发展。

3) 深化种业协同创新机制研究,构建以体系参与国际竞争的格局。进一步围绕“包括种质资源收集、种质资源鉴定、育种理论创新、育种工具手段开发、育种材料创制、新品种研发、种子生产及推广营销”的种子链,到“大田种植生产、初加工、精深加工”的农产品及农食品产品链,探索交易公平顺畅、利益分配公正、风险共同承担的协同创新机制和典

型模式。促进链条上下游之间的环节匹配、主体协同、要素融合,打造以终端农产品或农食品需求为导向的高效创新供给体系,促进中国种业以协作体系参与国际竞争,避免某一环节或主体在国际舞台上的单打独斗。

4) 加大种业创新投资和保险力度,鼓励私人部门参与并主导创新。进一步探索数据收集制度、接口协议规则、多数据融合方式,赋予不同主体数据获取权及优先使用权,推进分品种的种业大数据平台建设,更好地维护知识产权并强化种业全链条治理水平。加快基于信息大数据的中国种业智能化、智慧化治理步伐,缓解中国种业的过度熵增现象,推进链条上下游的主体建立长期稳定契约。以政府资金与政策性保险撬动更多企业资本、金融资本、社会资本、商业保险等参与到种业创新链及制种环节,切实促使企业在种业资源要素配置中发挥更重要、更有效的作用。

5) 加强转基因相关系列社会调查,推进转基因品种创新及产业化。对于发达国家转基因知识产权保护措施、激励机制,国外转基因产业化推进历程、具体流程与监管框架等,开展系统研究。深刻分析国内制种主体、种植养殖生产主体、精深加工主体、市场消费主体等不同主体对转基因品种及产品的认知采纳意愿,对比公众对转基因与基因编辑食物的认知采纳现状与差异,加快研究转基因知识科普策略、产业化推进方案等。同时鼓励国内转基因创新成果申请国际专利,强化国际认同,提高国际话语权,有序推进转基因等生物育种产业化应用,为开放合作做好技术工具、优质基因、管理制度方面的充分准备。

6) 加强种业开放合作策略研究,促进种业资源材料的引进与交换。研究探索种质资源、新品种、新技术及创新管理制度的交流合作策略,利用“两种资源、两种市场”,加强中国种业的对外开放合作,为主动参与种业国际竞争和规则制定提供利弊权衡与战略考量。推动国际种质资源引进绿色通道开通、国内外优质育种材料的交流,推进落实《生物多样性公约》,积极加入《粮食和农业植物遗传资源国际条约》、更新执行《国际植物新品种保

护公约》(1991年文本),加快国际互认并积极争取国际话语权,保护和促进中国种业健康发展,有力推动中国种业国际化发展进程。

参考文献(References)

- [1] 解沛, 宋子涵, 熊明民. 中国种业不同历史阶段发展成效与展望[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(10): 1-5.
- [2] 程华, 卢凤君, 谢莉娇. 农业产业链组织的内涵、演化与发展方向[J]. 农业经济问题, 2019(12): 118-128.
- [3] 王术坤, 韩磊. 中国种业发展形势与国际比较[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(5): 814-822.
- [4] Kim K D, Kang Y, Kim C. Application of genomic big data in plant breeding: Past, present, and future[J]. *Plants*, 2020, 9(11): 1454.
- [5] Vieira C C, Chen P. The numbers game of soybean breeding in the United States[J]. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2021, 21(Suppl 1): 1-10.
- [6] Vitis M D, Abbandonato H, Dixon K W, et al. The European native seed industry: Characterization and perspectives in grassland restoration[J]. *Sustainability*, 2017, 9(10): 1682.
- [7] Lüttringhaus S, Gornott C, Wittkop B, et al. The economic impact of exchanging breeding material: Assessing winter wheat production in Germany[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 1-14.
- [8] Geda S A, Köhl R. Exploring smallholder farmers' preferences for climate-smart seed innovations: Empirical evidence from Southern Ethiopia[J]. *Sustainability*, 2021, 13(5): 2786.
- [9] Bird S S, Carter M R, Lybbert T J, et al. Filling a niche? The maize productivity impacts of adaptive breeding by a local seed company in Kenya[J]. *National Bureau of Economic Research*, 2022(157): 1-52.
- [10] Sánchez M A. Chile as a key enabler country for global plant breeding, agricultural innovation, and biotechnology[J]. *GM Crops & Food*, 2020, 11(3): 130-139.
- [11] Anders S, Cowling W, Pareek A, et al. Gaining acceptance of novel plant breeding technologies[J]. *Trends in Plant Science*, 2021, 26(6): 575-587.
- [12] Colley M R, Tracy W F, Bueren E T L, et al. How the seed of participatory plant breeding found its way in the world through adaptive management[J]. *Sustainability*, 2022, 14(4): 2132.
- [13] Lenaerts B, Mey Y, Demont M. Revisiting multi-stage

- models for upstream technology adoption: Evidence from rapid generation advance in rice breeding[J]. *Journal of Agricultural Economics*, 2021, 1(73): 277–300.
- [14] Jorasch P. Potential, challenges, and threats for the application of new breeding techniques by the private plant breeding sector in the EU[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 1–13.
- [15] Koladya D E, Awal M A. Seed industry and seed policy reforms in Bangladesh: Impacts and implications[J]. *International Food and Agribusiness Management Review*, 2018, 21(7): 989.
- [16] Rutsaert P, Donovan J, Kimenju S. Demand-side challenges to increase sales of new maize hybrids in Kenya [J]. *Technology in Society*, 2021(66): 1–13.
- [17] Kock M A. Open intellectual property models for plant innovations in the context of new breeding technologies [J]. *Agronomy*, 2021, 11(6): 1218.
- [18] Bostyn S J R. Towards a fair scope of protection for plant breeders' rights in an era of new breeding techniques: Proposals for a modernization of the essentially derived variety concept[J]. *Agronomy*, 2021, 11(8): 1511.
- [19] Dima O, Heyvaert Y, Inzé D. Interactive database of genome editing applications in crops and future policy making in the European Union[J]. *Trends in Plant Science*, 2022, 27(8): 746–748.
- [20] Erikssona D, Chatzopoulou S. Responsible decision-making for plant research and breeding innovations in the European Union[J]. *GM Crops & Food*, 2018, 9(1): 39–44.
- [21] Mariani S. Law-driven Innovation in cereal varieties: The role of plant variety protection and seed marketing legislation in the European Union[J]. *Sustainability*, 2021, 13(14): 8049–8063.
- [22] Beumer K, Stemerding D, Jac A A, et al. Innovation and the commons: Lessons from the governance of genetic resources in potato breeding[J]. *Agriculture and Human Values*, 2021, 38(1): 525–539.
- [23] Whelan A I, Lema M A. A research program for the socioeconomic impacts of gene editing regulation[J]. *GM Crops & Food*, 2017, 8(1): 74–83.
- [24] Hamdan M F, Noor S N M, Nazrin A A, et al. Green revolution to gene revolution: Technological advances in agriculture to feed the world[J]. *Plants*, 2022, 11(10): 1297.
- [25] Berg J P, Kleter G A, Battaglia E, et al. Application of the safe-by-design concept in crop breeding innovation [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(17): 6420.
- [26] Gervaise D, Regis B, Mireille C. Lay and scientific categorizations of new breeding techniques: Implications for food policy and genetically modified organism legislation [J]. *Public Understanding of Science*, 2020, 29(5): 524–543.
- [27] Lassoued R, Macall D M, Hesseln H, et al. Benefits of genome-edited crops: Expert opinion[J]. *Transgenic Research*, 2019, 28(2): 247–256.
- [28] Deconinck K. New evidence on concentration in seed markets[J]. *Global Food Security*, 2019, 23: 135–138.
- [29] Bonny S. Corporate concentration and technological change in the global seed industry[J]. *Sustainability*, 2017, 9(9): 1632.
- [30] 徐一兰, 傅爱斌, 陈光尧. 中国种业发展的困境与对策[J]. *中国种业*, 2020(11): 13–17.
- [31] 刘辉, 杨楠. 突破育种技术 应对世界种业巨头挑战[J]. *中国农垦*, 2021(8): 36–38.
- [32] 邓岩. 国际化是中国种业发展的必由之路[J]. *中国种业*, 2017(1): 18–21.
- [33] 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.
- [34] 李国英. 国家粮食安全视角下中国种业安全隐忧及商业化发展路径研究[J]. *改革与战略*, 2022, 38(2): 116–125.
- [35] 解沛, 宋子涵, 熊明民. 中国种业发展现状与对策建议[J]. *农业科技管理*, 2022, 41(1): 9–12.
- [36] 窦鹏辉. 基于创新链视角的中国种业发展困境及破解路径研究[J]. *农业经济问题*, 2023(11): 17–26.
- [37] 秦晓婧, 郑怀国, 颜志辉, 等. 丹麦畜禽种业规划及其对我国的启示[J]. *中国畜牧杂志*, 2023(1): 241–246.
- [38] 李书峰, 毛世平. 制度创新与技术创新的互动机理对中国种业自主创新发展的影响分析[J]. *世界农业*, 2019(6): 91–97.

Trends of global seed industry and suggestions on innovative development of seed industry in China

CHENG Hua¹, WANG Gangyi^{2*}

1. China Center for International Economic Exchange, Beijing 100050, China

2. College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150000, China

Abstract This article systematically reviews the relevant literature in recent years to analyze the development and research trends of the global seed industry and argues that the theoretical innovation research and practical innovation exploration of China's seed industry are not in-depth enough nor forward-looking enough. In view of the basic practical challenges faced by China's seed industry, the paper points out the specific measures of systematically deepening theoretical innovation and practical exploration in six aspects, including "quasi public goods publicity scheme, horizontal and vertical acquisition boundaries of seed companies, collaborative innovation mechanism cluster of seed industry, institution of social capital and insurance participation in innovation chain, transgenic series of social surveys, and introduction and exchange strategy of germplasm resource".

Keywords global seed industry; China seed industry; innoation in seed industry ●



(责任编辑 刘志远)