

2023年中国农业分子 育种行业发展白皮书

亿欧智库 <https://www.iyiou.com/research>

Copyright reserved to EO Intelligence, December 2023



目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

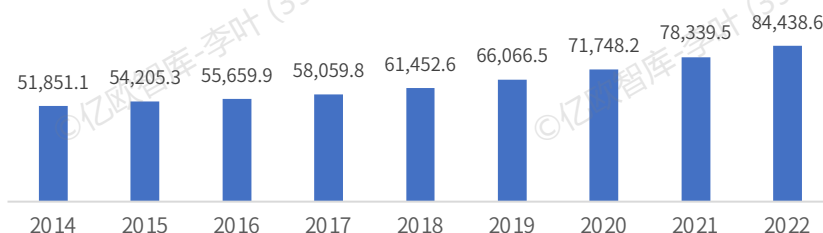
中国育种行业迎来再次发展

◆ 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

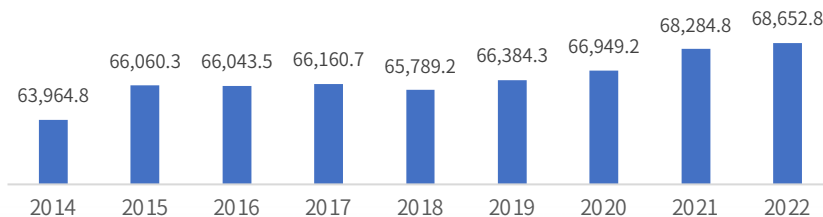
近年来，随着全球经济增长持续放缓，国际贸易逐渐萎缩，多边贸易体制受到冲击，区域自贸协定加速推进；同时，全球传染病肆虐、气候异常和虫害疾病等风险也为农业发展带来了巨大的风险，全球农产品市场出现了不确定性和波动性。

中国是一个人口众多、地域广袤的国家，保障粮食和重要农产品的稳定供给，是国家安全和社会稳定的基础。长期以来，党中央坚持以供给侧结构性改革为主线，推动农业从数量型向质量型转变，从单一型向多样型转变。一方面，优化种植结构和区域布局，发展优势特色产业；另一方面，延伸粮食产业链、提升价值链、打造供应链，增加农产品附加值和竞争力。根据国家统计局的数据，2014年至2022年，中国农业总产值从51,851.1亿元增长到84,438.6亿元，8年复合增长率CARG达6.29%，中国农业产值保持稳定的增长态势。其中，2014-2022年中国粮食总产量从6.06亿吨增长到6.87亿吨，8年复合增长率CARG为1.57%。目前粮食自给率保持在95%以上，人均粮食占有量超过470公斤。

亿欧智库：2014-2022年中国农业总产值（单位：亿元）



亿欧智库：2014-2022年中国粮食总产量（单位：万吨）



数据来源

农业部，商务部，国家统计局，中华人民共和国资源部

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

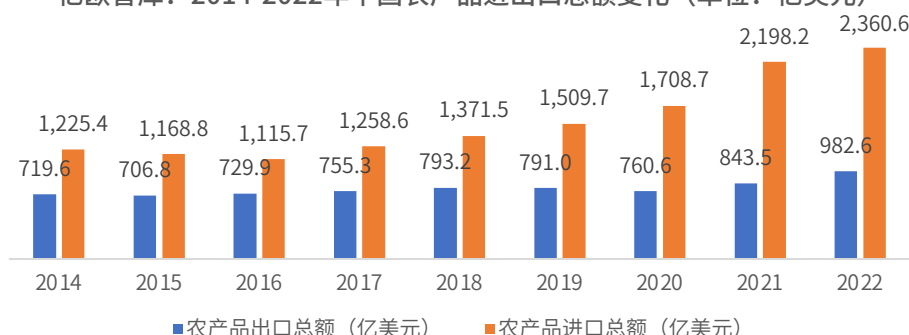
1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

中国是世界农产品出口大国，近年来农产品出口规模也保持在较高的水平，但出口主要集中在低附加值、低技术含量和低品牌影响力的初级农产品。并且，这些产品在国际市场上面临着众多发展中国家和部分发达国家的激烈竞争，如：越南、泰国、印度、巴西、美国、欧盟等。尤其是东南亚国家相关产品，不仅在品种、价格、质量和服务等方面具有优势，而且在贸易政策、市场准入、标准认证等方面也有较强的影响力。

亿欧智库：2014-2022年中国农产品进出口总额变化（单位：亿美元）



为更好地守护中国农业，需要认清当下面临的困境，积极寻找解决方案。具体来看，中国农业安全面临的主要挑战如下：一是资源约束日益突出，中国人均耕地面积只有世界平均水平的40%，人均水资源只有世界平均水平的28%，耕地质量不高，土壤污染、退化、盐碱化等问题仍然存在；二是生产效率有待提高，中国农业劳动生产率仅为非农产业的25.3%；三是市场及环境波动风险增大，受逆全球化、气候变化、地缘政治等因素影响，全球供应链不稳定性增加，国际农业贸易、投资与合作风险和不确定性上升，对中国粮食安全带来前所未有的冲击和挑战。

亿欧智库：中国农业安全面临挑战

资源约束影响

据《中华人民共和国可持续发展国家报告》数据，中国人均耕地面积仅为世界平均水平的40%，人均水资源量仅为世界平均水平的28%。随着工业化和城镇化的快速推进，耕地、水等农业资源短缺问题更加突出。

生产效率影响

2022年中央农村工作会议，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平指出：农业现代化明显滞后，部分表现在农业生产效率相对较低，农业劳动生产率仅为非农产业的25.3%；农业比较效益低下；农产品国际竞争力明显不足，国内粮食等农产品价格普遍超过国际市场。

市场及环境波动风险

包括：气候异常影响（极端天气频现，影响农业基础设施，降低生产水平和效率）、虫害与疾病影响（外来物种及病害入侵，一定程度上造成中国农产品减产风险和进口增加风险）、国际贸易不稳定性、不确定性加剧（全球产业链布局由“效率至上”转向“安全至上”，农业安全作为国家安全的根基，也受到影响）。

数据来源

农业部，商务部，《中华人民共和国可持续发展国家报告》

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

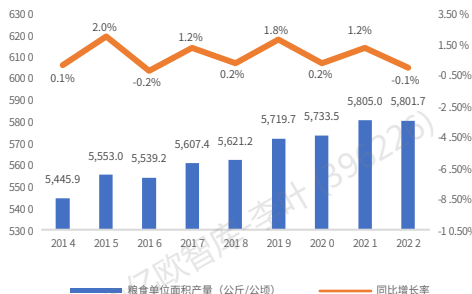
耕地是粮食生产的基础，然而中国耕地面积正在面临持续减少的危机。

从2014到2022年，中国耕地面积从13,506万公顷减少至12,760万公顷，8年复合增长率为-0.71%。为降低耕地面积减少速度，党中央、国务院实施最严格的耕地保护制度和最严格的节约用地制度、坚持节约集约用地、合理确定新增建设用地规模，提高土地开发利用效率，积极保护耕地，最终坚持守住18亿亩耕地红线不动摇。中国多年来持续减少的耕地总量势头得到初步遏制，于2019年实现止减回增，2020-2022年连续三年保持全国耕地总量的稳定。与此同时，中国政府明确加快推进高标准农田建设，提高耕地质量和产能。高标准农田能够有效提升抗旱抗涝、防灾减灾、节水节肥、增产增收等能力。截至2022年底，中国建成了约6,667万公顷的高标准农田，占全国耕地面积的52.1%。

亿欧智库：2014-2022年中国耕地面积变化

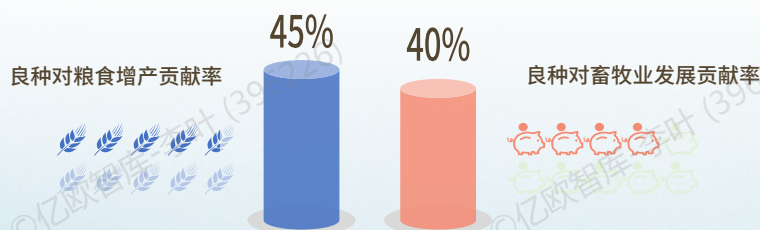


亿欧智库：2014-2022年中国粮食单位面积产量



在这样的背景下，提高单产是保障中国农业安全的核心，而发展种业则是提高单产的核心环节。根据农业农村部数据，当前中国农作物良种覆盖率在96%以上，自主选育品种面积占比超过95%，畜禽核心种源自给率超过75%，良种对粮食增产、畜牧业发展的贡献率分别达到45%、40%，为中国粮食连年丰收和重要农产品稳产保供提供了关键支撑。受益于农业和种业的科技应用水平快速发展，2017-2018年虽然耕地面积大幅缩减，但是粮食单位面积产量却得到大幅提升：从2017年5,599公斤/公顷提升到5,849公斤/公顷，增幅为4.47%。自此中国粮食单位面积产值提升到了一个先进的水平。

亿欧智库：良种对农业增产的贡献率



数据来源

农业部，商务部，国家统计局，中华人民共和国资源部资源部

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

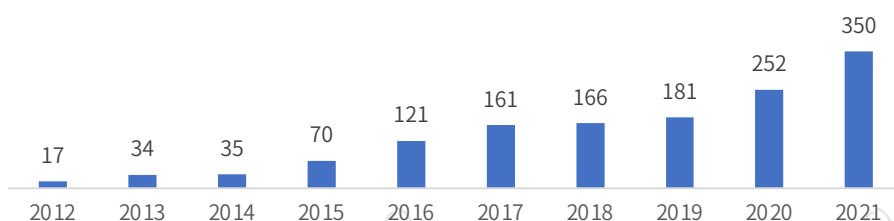
中国育种行业迎来再次发展

◆ 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

种源是农业的“芯片”，是建设现代农业的标志性、先导性工程，也是国家战略性、基础性产业。种子/种苗是农业生产的基础，也是农业科技创新的核心。种子的好坏直接决定农作物的优劣，影响着农民的收入、消费者的健康和国家的粮食安全等问题。种业技术创新不仅可以提高农作物和畜禽的品质、产量和抗逆性，还能促进耕作栽培、植物保护、农业工程、农业环保、农产品加工等领域的发展。

种源是农业生产的第一要素，也是农业科技创新的核心载体。然而，中国种子进出口总额长期存在贸易逆差情况。据《中国种子进出口结构与安全性评价》数据显示，中国种子逆差额快速增长，复合增长率高达40%，截止到2021年逆差额为3.5亿美元，优质饲草种子等仍需大量进口。

亿欧智库：2013-2021中国种子进出口逆差额测算结果（单位：十万美元）



总体来看，在全球主要种业经济体范围内，中国在全球主要国家种业产业竞争力排名中处于中游水平：2019年，中国种业产业竞争力指数为0.302，排在美国（0.678）、荷兰（0.466）、法国（0.353）、德国（0.318）之后，位列第5位。然而，中国人口总数位列世界第一。由此可见，中国种业发展水平与实际市场需求仍有较大距离。

亿欧智库：2019年10国种业产业竞争力指数排名^[1]

排名	国家	国际贸易竞争力指数	企业竞争力指数	产业规模指数	产业竞争力
1	美国	0.416	0.560	1.000	0.678
2	荷兰	1.000	0.104	0.112	0.466
3	法国	0.598	0.171	0.199	0.353
4	德国	0.266	1.000	0.030	0.318
5	中国	0.008	0.288	0.603	0.302
6	巴西	0.212	0.000	0.145	0.143
7	加拿大	0.124	0.000	0.104	0.091
8	日本	0.056	0.079	0.051	0.059
9	英国	0.114	0.000	0.001	0.045
10	澳大利亚	0.066	0.000	0.000	0.026

数据来源：

[1]《全球作物种业发展概况及对中国种业发展的战略思考》
农业部，商务部，《中国种子进出口结构与安全性评价》

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

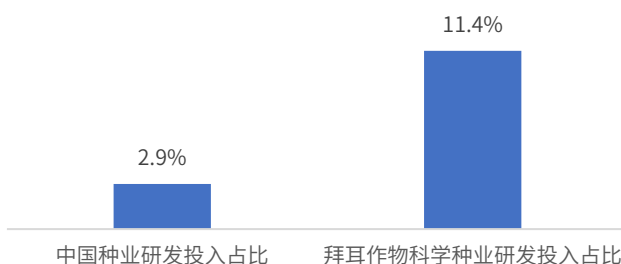
1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

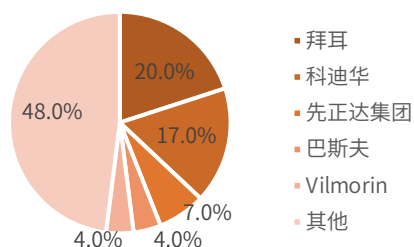
种子技术研发能力是种业竞争的核心。然而，中国农业长期重生产、轻育种，中国种业企业育种研发薄弱，研发投入与海外种业国际公司相比差距较大。2022年中国上市育种TOP10公司年报数据显示，其整体研发费用率（研发费用/总销售额）中位数为2.9%，而2022年拜耳为11.4%，中国种企的研发投入水平和能力仍有待提高。

亿欧智库：2022年中国种业与全球种业研发费用率

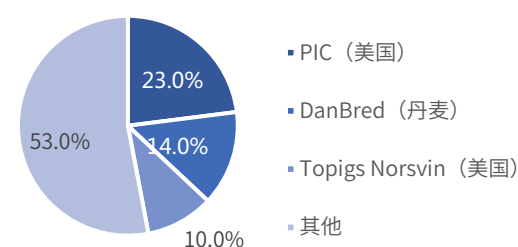


与国际市场种企格局相比，中国种业企业行业集中度低、企业规模小，各企业专注于抢占市场份额，进行白热化地商业竞争，更多的经营成本流入到销售费用当中，无暇投入到科研技术的研发，进一步限制企业科技投入能力，使得中国种业在全球处于被动地位。具体来看，2020年全球种业CR5^[1]达52%，中国种业CR5仅占12%；2020年全球种猪CR3^[2]达到47%，国内则极度分散，CR5仅占5%。这些数据反映了中国种子行业在全球市场上缺乏话语权和影响力，在转基因技术等生物育种技术产业中缺乏核心竞争力。

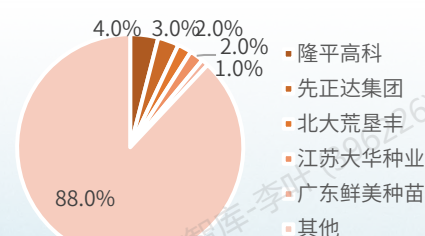
亿欧智库：2020年全球种业市场份额



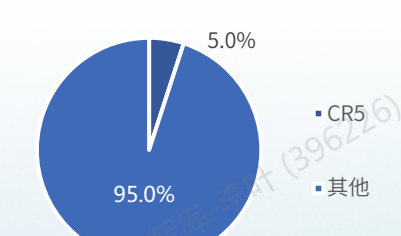
亿欧智库：2020年全球种猪市场份额



亿欧智库：2020年中国种业市场份额



亿欧智库：2020年中国种猪市场份额



数据来源

[1] CR5是指业务规模前五名的公司所占的市场份额

[2] CR3是指业务规模前三名的公司所占的市场份额

Kynetec、中国农业技术推广服务中心、灼识咨询、PIC全球市场报告、头豹，亿欧智库整理分析

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现况

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

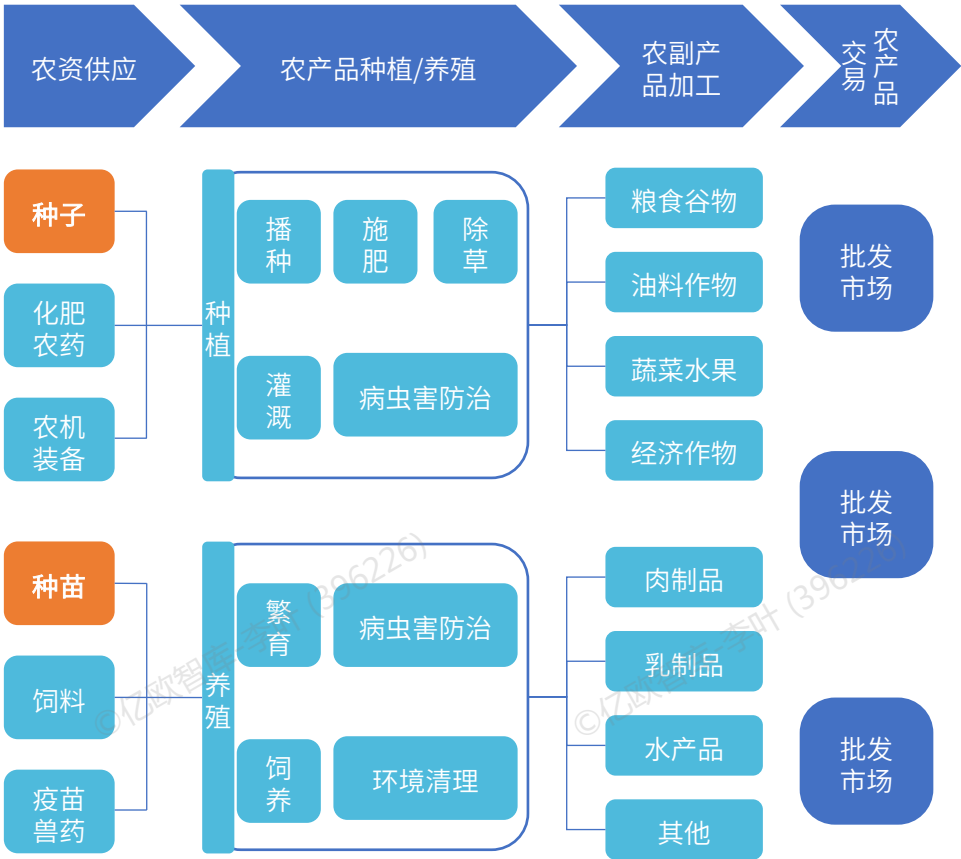
1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

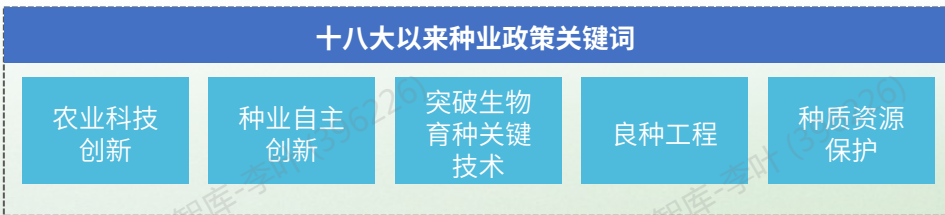
种源是农业产业链的源头，是种业自主的核心要素；种业技术的创新，带动着耕作栽培、植物保护、农业工程、农业环保、农产品加工等领域的发展。

亿欧智库：种源是农业产业链的“芯片”



种源产业发展离不开国家政策的大力支持，党的十八大以来，推动种业发展的系列政策发布，2021年中央一号文件更是首次单独提出种业发展，打好种业翻身仗；2023年中央一号文件首次提出加快生物育种商业化步伐。由此可见，近些年国家政策在育种行业加大扶持力度。

亿欧智库：十八大至今种业政策关键词



1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

近三年，为推动种业快速健康地发展，从国家顶层政策到各部委，颁布多项重要措施和方案，驱动种业快速发展。这些政策措施为分子育种技术提供了法律保障、资金支持，和市场激励等条件。在一系列利好种业发展的政策催化下，中国种业发展正处于一个重要的历史机遇期和战略机遇期：中国将坚持以科技创新为引领，打好种业“翻身仗”，实现粮食安全和农业现代化的目标，为建设社会主义现代化强国作出贡献。

亿欧智库：2021-2023年农业育种领域重点政策梳理



1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现况

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

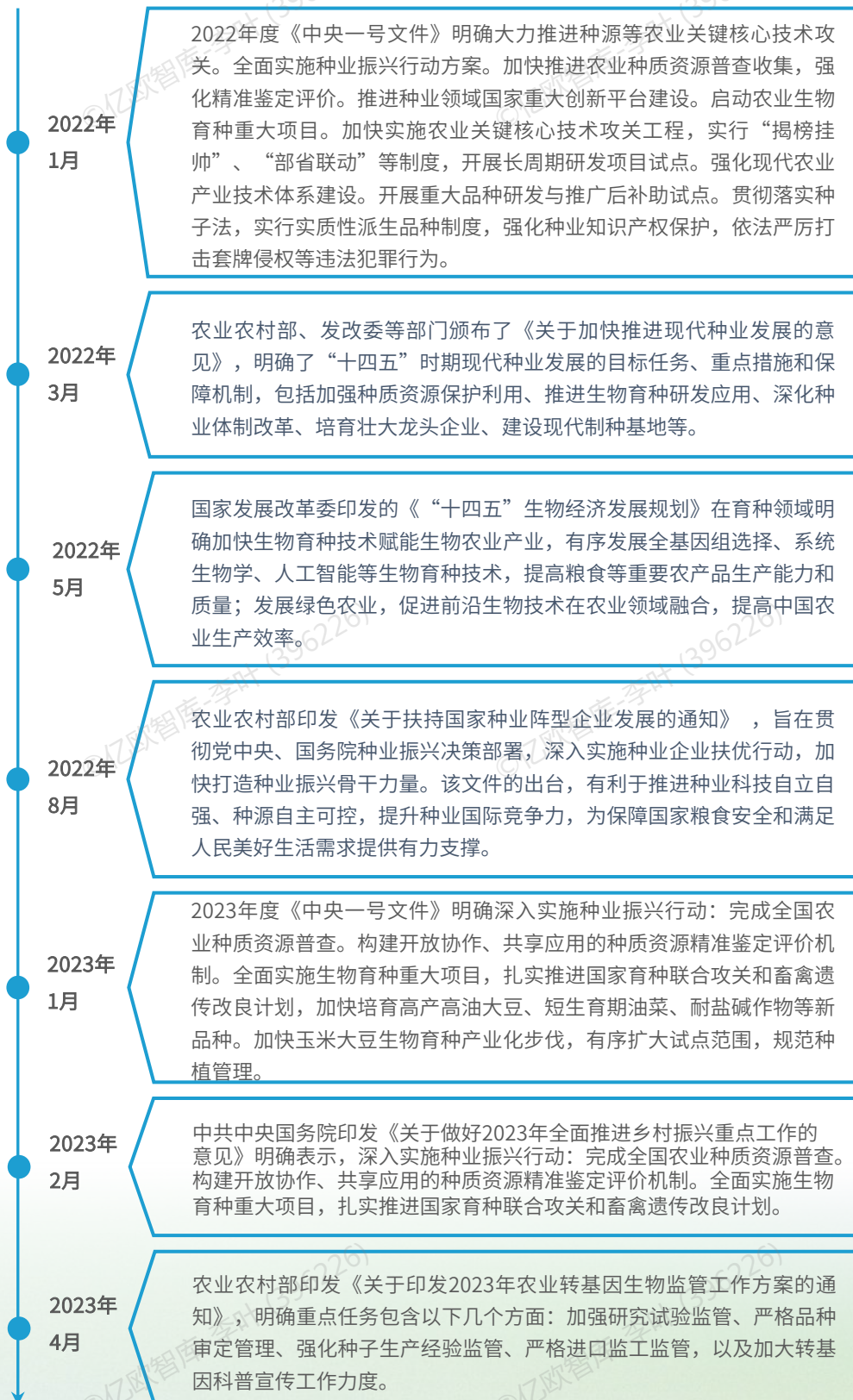
1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

亿欧智库：2020年12月-2023年8月育种领域重点政策梳理（续表）



数据来源

亿欧智库

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现况

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

通过对比2021年至2023年中央一号文对育种领域的措辞变化，我们可以发现，政府逐渐对育种领域发展有不同要求：2021年中央一号文件提出要“打好种业翻身仗”，2022年一号文件提出“全面实施种业振兴行动方案”。继2022年后，2023年中央一号文再次提出：全面实施生物育种重大项目，加快培育高产高油大豆、短生育期油菜、耐盐碱作物等新品种。加快玉米大豆生物育种产业化步伐，有序扩大试点范围，规范种植管理。

2023年中央一号文是首次提出加快生物育种商业化步伐，重视生物育种带来的产业变革，其关于“加快生物育种商业化步伐”的定调既符合粮食安全的大局观，也符合国内种业振兴的内在需要。同时，2023年一号文要求进一步巩固粮食安全，扎实从事农业技术服务类企业有望充分获益乡村振兴浪潮。此外，在党的二十大报告和中央农村工作会议提出要“全面推进乡村振兴、加快建设农业强国”的基础上，中央一号文件给出了建设农业强国的基本内涵。

亿欧智库：近三年中央一号文对支持育种领域发展的措辞变化

2021年

三、加快推进农业现代化（八）

打好种业翻身仗。农业现代化，种子是基础。加强农业种质资源保护开发利用，加快第三次农作物种质资源、畜禽种质资源调查收集，加强国家作物、畜禽和海洋渔业生物种质资源库建设。对育种基础性研究以及重点育种项目给予长期稳定支持。加快实施农业生物育种重大科技项目。深入实施农作物和畜禽良种联合攻关。实施新一轮畜禽遗传改良计划和现代种业提升工程。尊重科学、严格监管，有序推进生物育种产业化应用。加强育种领域知识产权保护。**支持种业龙头企业建立健全商业化育种体系**，加快建设南繁硅谷，加强制种基地和良种繁育体系建设，研究重大品种研发与推广后补助政策，促进育繁推一体化发展。

2022年

二、强化现代农业基础支撑（八）

大力推进种源等农业关键核心技术攻关。**全面实施种业振兴行动方案。**加快推进农业种质资源普查收集，强化精准鉴定评价。推进种业领域国家重大创新平台建设。启动农业生物育种重大项目。**加快实施农业关键核心技术攻关工程，实行“揭榜挂帅”、“部省联动”等制度，开展长周期研发项目试点。**强化现代农业产业技术体系建设。开展重大品种研发与推广后补助试点。贯彻落实种子法，实行实质性派生品种制度，强化种业知识产权保护，依法严厉打击套牌侵权等违法犯罪行为。

2023年

三、强化农业科技和装备支撑（十一）

深入实施种业振兴行动。完成全国农业种质资源普查。构建开放协作、共享应用的种质资源精准鉴定评价机制。全面实施生物育种重大项目，**扎实推进国家育种联合攻关和畜禽遗传改良计划，加快培育高产高油大豆、短生育期油菜、耐盐碱作物等新品种。加快玉米大豆生物育种产业化步伐，有序扩大试点范围，规范种植管理。**

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

2021年3月，第十三届全国人民代表大会第四次会议通过了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》，其中明确把全面推进乡村振兴作为实现中华民族伟大复兴的一项重大任务。2023年2月，中共中央国务院印发《关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》。乡村振兴是实现中华民族伟大复兴的重要任务，也是农业农村现代化的核心内容。而种业作为农业的基础，是乡村振兴的重要支撑，以小种子撬动乡村振兴大格局。

具体来看，推进种业高质量发展，不仅能提升粮食和重要农产品供给保障能力，保障国家粮食安全和经济社会稳定发展，而且能带动乡村产业、人才、文化、生态、组织等多方面的振兴：1、通过优化品种结构和区域布局，提高农产品的质量和竞争力，增加农民收入和就业机会，促进乡村产业振兴。2、通过加强科技创新和人才培养，提升乡村的创新能力和文化素养，增强乡村发展的活力和文明程度，促进乡村人才和文化的振兴。3、通过实施绿色发展理念和生态文明建设，减少化肥农药的使用量，改善乡村的生态环境和生活方式，促进乡村的生态振兴。4、通过完善商业化育种体系和营商环境，激发龙头企业和社会力量的参与，强化乡村组织建设和社区治理能力，促进乡村组织的振兴。

种源是农业发展的基础，需要深化种业育、繁、推一体化，实现保护、利用、发展有机统一，有力推动研发与应用、保护与创新，全方位多层次地助力农业全面升级、农村全面进步、农民全面发展，促进农业的高质高效、乡村的宜居宜业、农民的富裕富足。

推进种业高质量发展、打赢种业“翻身仗”是实现乡村振兴和农业农村现代化的必然要求；发展分子育种，是乡村振兴的重要落脚点，是实现乡村振兴伟大愿景下“产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕”的重要支撑。

亿欧智库：发展分子育种是乡村振兴的重要落脚点



1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

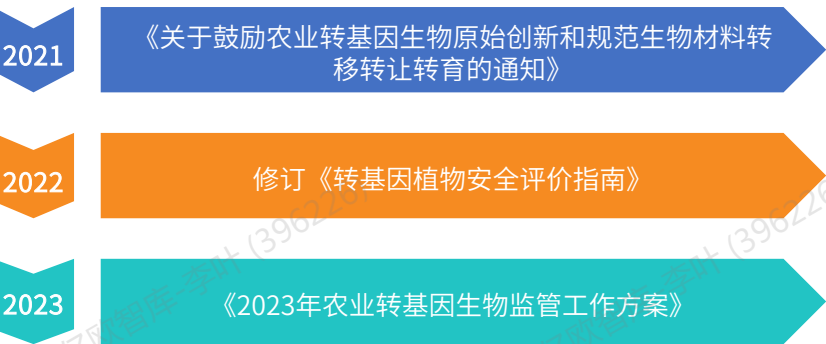
中国育种行业迎来再次发展

◆ 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的核心动力

除上文纲领性支持政策外，2023年农业农村部印发《2023年农业转基因生物监管工作方案》等政策性文件，明确对转基因作物的支持与推进。同时，相关部门根据《种子法》《食品安全法》《农业转基因生物安全管理条例》等法律法规严格监管，依法打击制种、售种、种植、加工、销售等环节违法行为，落实产品标识管理制度，确保产业化应用规范有序。

除此之外，其他政策对品种审定制度、转基因生物原始创新、转基因育种科研，以及完善产业化应用政策保障，均予以支持，这释放出中国将在严格农业转基因生物安全评价基础上，为全面产业化做准备的重要信号。

亿欧智库：2021-2023年农业农村部有关转基因生物监管政策（部分）



亿欧智库：中国有关育种发展政策方向



数据来源

政府官网、亿欧智库

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

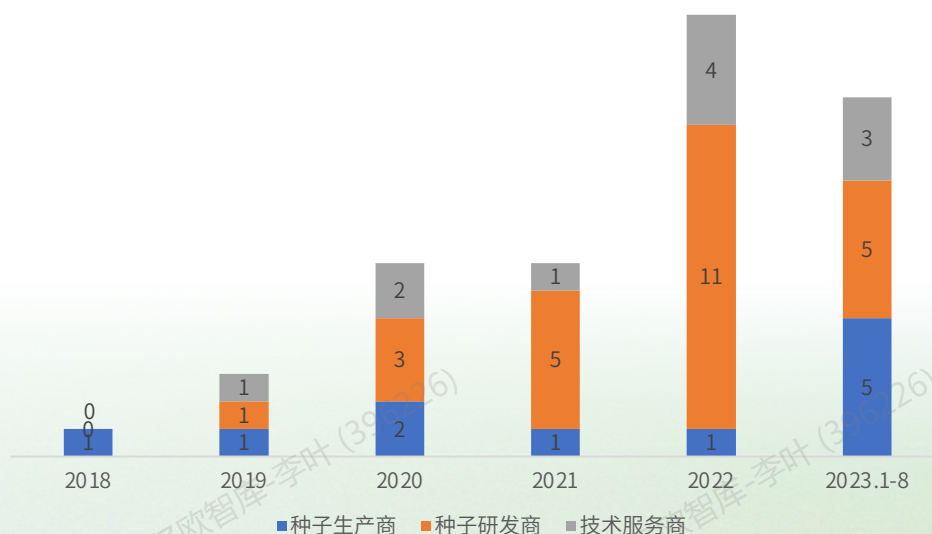
中国育种行业迎来再次发展

◆ 投资机构在种业方向布局

2023年6月16日，中国人民银行、金融监管总局、中国证监会、财政部、农业农村部近日联合发布《关于金融支持全面推进乡村振兴加快建设农业强国的指导意见》，对做好粮食和重要农产品稳产保供金融服务、强化巩固拓展脱贫攻坚成果金融支持、加强农业强国金融供给等九个方面提出具体要求，其中明确加强种业振兴等农业关键核心技术攻关金融支撑，强化农业科技装备和绿色发展融资支持，加大乡村产业高质量发展金融资源投入。随着政策不断利好，投资机构开始逐渐对种业关注度增加。投资机构在种业方面主要有以下几个方面的布局：

- 投资种业科技型企业：投资机构对种业科技型公司的关注度持续增长。科技型企业致力于开发育种创新技术进行育种CRO，包括但不限于：全基因组选择、基因编辑育种、转基因育种、合成生物学、BT+IT技术融合等，主要为育种方向技术服务商。投资机构通过注资以上公司，助力基础技术发展，推动育种领域的创新和发展。
- 支持种业初创企业：投资机构也在积极关注种业领域的初创企业，初创型企业专注于畜禽改良、作物品种开发及生产，具体细分为种子研发和生产，投资机构通过提供种子资金、孵化加速器、创业投资等支持工作，帮助初创企业开展种源繁育改良、种质资源保护和产品推广等。
- 建立种业基金：部分投资机构设立了专门的种业基金，用于投资种源企业以及相关的农业科技项目。这些基金通过集中资源和专业团队，加速种业的发展，并为投资机构提供与农业产业相关的回报机会。

亿欧智库：近五年中国境内种业各类厂商融资事件数趋势图



数据来源

政府官网、华谷研究院、亿欧数据、亿欧智库

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 投资机构在种业方向布局

- 产业融资：上市企业融资主要为了建设新项目，种子企业对外投资以扩大业务规模、布局上下游，展开多元化经营。以国家开发投资集团为例，其通过国投创益所属中央企业乡村产业基金，在生物育种领域多次投资形成全线覆盖，已投资大北农生物、杭州瑞丰、粮元生物、隆平生物等公司，以及中农大和中国农业院筹备中的生物育种项目，控股丰乐种业，并参股投资中化集团旗下先正达集团，实现了从玉米、大豆到水稻，从转基因到常规育种，从育种科研到产业的投资全覆盖。除此之外，华大共赢在新型应用方向，如基因编辑育种的安全性评估方向，投资了聚焦细胞基因治疗、生物育种安全性评价的唯可生物，驱动行业发展。
- 产业整合和并购：产业整合和并购来推动种业行业发展，通过投资种业公司并协助进行重组、合并，扩大企业规模 and 市场份额，提高产业的竞争力和效益。其中最为关注的是来自央企产业整合和并购，2022年大北农以3.06亿元并购玉米育种企业云南大天，加速其在传统杂交玉米的种业战略布局。
- 产业服务和咨询：除以上直接投资行为，部分投资机构还可以提供种业产业链的管理咨询服务，为种子和种苗企业提供市场调研、战略规划、营销推广等方面的支持，帮助企业提高运营和管理水平。

在政策的推动下，包括央企在内的投资机构对种业的关注度持续上升，我们梳理近五年中国境内种业各类企业融资事件，可以发现在2022年及2023年1月-8月，相关事件数量有显著增长。从赛道来看，以博瑞迪、极智基因、齐禾生科、百奥云为代表的创新性育种企业，集中在育种技术服务、基因编辑育种、人工智能和大数据育种方向，受投资机构青睐；从领域来看，主要投向种质资源保护、种业创新攻关、提升种业基地建设等；从投资结构来看，政府投入和社会资本呈现双增态势，但各地区差异性较大。

亿欧智库：近三年中国境内重点种业厂商融资事件列表

企业全称	融资轮次	融资时间	融资金额	投资机构
史记生物技术有限公司	战略融资	2023-09-26	4亿人民币	中金资本/安徽国控集团
成都瀚辰光翼科技有限责任公司	B+轮	2023-08-27	超3亿	清池资本/国泰君安创投/道彤投资/君联资本/洲嶺资本/循正创投/成都生物城集团
苏州齐禾生科生物科技有限公司	战略投资	2023-08-20	未披露	中科创星
武汉双绿源创芯科技研究院有限公司	战略融资	2023-08-18	数千万	隆平生物
石家庄博瑞迪生物技术有限公司	战略投资	2023-08-16	数千万	道彤投资/辰德资本/昊辰资本/钧桦投资
中农种源（深圳）科技有限公司	Pre-A轮	2023-08-10	未披露	联想创投
天津极智生物科技有限公司	天使轮	2023-06-19	数千万	烟台顺达胜

数据来源

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现况

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 投资机构在种业方向布局

亿欧智库：近三年中国境内重点种业厂商融资事件列表（续）

企业全称	融资轮次	融资时间	融资金额	投资机构
西科农业集团股份有限公司	定向增发	2023-05-21	4306.67万	环能科技/个人投资者/中湖南农科院
未米生物科技(江苏)有限公司	Pre-A轮	2023-04-25	数千万	厚新健投
河北新纪元种业有限公司	并购	2023-04-24	2.24亿	荃银高科
安徽皖垦种业股份有限公司	定向增发	2023-04-20	1005.96万	国元金控
安徽皖垦种业股份有限公司	新三板定增	2023-04-19	1006万	国元金控
苏州齐禾生科生物科技有限公司	Pre-A轮	2023-04-19	超亿	辰德资本/源码资本/高榕资本/中新资本/新尚投资
广东中芯种业科技有限公司	Pre-A轮	2023-03-22	4000万	相融资本
河南金博士种业股份有限公司	新三板定增	2023-03-07	1100.0万	杭州瑞丰
北京迈泽裕丰生物科技有限责任公司	战略投资	2023-03-06	未披露	巢生资本/中信农业
福建科力种业有限公司	并购	2023-02-26	3117.08万	隆平高科
陕西大唐种业股份有限公司	新三板定增	2023-02-05	1500.0万	铜川市产业投资集团有限责任公司
石家庄博瑞迪生物技术有限公司	A++轮	2023-02-20	超亿	阿里巴巴/吴辰资本/万物资本/允治资本/吉慧基金/辰德资本/道彤投资
海南弥生生物科技有限公司	A轮	2022-12-31	未披露	红杉中国
河南金苑种业股份有限公司	定向增发	2022-12-14	2323.52万	未知
山东舜丰生物科技有限公司	战略投资	2022-10-31	未披露	IDG资本
武汉艾迪晶生物科技有限公司	天使轮	2022-10-25	数千万	济峰资本/涌铎投资/三叶虫创投
北京天丰智慧农业科技有限公司	天使轮	2022-10-11	未披露	嘉信基金
广东中芯种业科技有限公司	天使轮	2022-09-29	23.33亿	恒健控股/先农投资/华农大资产经营/东成种猪
隆平生物技术（海南）有限公司	C轮	2022-08-30	未披露	大湾区共同家园发展基金/崖州湾科技城
昆山科腾生物科技有限公司	战略投资	2022-07-05	未披露	国晟资本
云南大天种业有限公司	并购	2022-04-24	3.06亿	大北农集团
安溪县福华生态农牧有限公司	股权转让	2022-04-28	未披露	福建省安溪太华林场有限公司
天津德瑞特种业有限公司	股权转让	2022-04-24	2.6亿	隆平高科
杭州瑞丰生物科技有限公司	B轮	2022-04-21	1亿	博裕资本/瞰道悟新资本投资管理（北京）/国投创益陕西粮农集团有限责任公司/源禾资本/隆平高科
长沙百奥云数据科技有限公司	Pre-A轮	2022-03-23	数千万	凯泰资本/和玉资本
苏州齐禾生科生物科技有限公司	种子轮	2022-03-20	1亿	杏泽资本
四川天豫兴禾生物科技有限公司	战略投资	2022-03-13	2700万	丰乐种业
中农美蔬（深圳）科技有限公司	天使轮	2022-02-07	700万	IDG资本/驰星创投/丰码科技/中农投控
内蒙古金岭青贮玉米种业有限公司	并购	2022-01-26	1.49亿	丰乐种业
湖南兴蔬种业有限公司	并购	2021-12-21	835.44万	湖南海利
甘肃兴达种业有限公司	并购	2021-10-17	1513.2万	农发种业

数据来源

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

通过梳理，育种技术发展可以分为四个主要时期：原始驯化选育（1.0版）、常规育种（2.0版）、分子育种（3.0版）和智慧育种（4.0版）。各时期的相关定义如下：

- **原始驯化选育（1.0版）**：这是最早的生物育种技术，人类通过对野生植物或动物的驯化和人工选择，使其具有更适合人类利用的性状，如高产、易收获、易保存等，如早期人类在驯化小麦的过程中选定了一些性状，它们成为了培育现代小麦品种的基础。
- **常规育种（2.0版）**：该时期是指20世纪初，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，培育出具有高产、优质、抗逆等性状的杂交品种。
- **分子育种（3.0版）**：从20世纪末开始发展，该时期开始利用遗传学、分子生物学、基因工程等技术，对植物或动物的基因进行检测、标记、转移或编辑，培育出具有特定性状的新品种。该阶段的育种技术可有效地提高育种效率和精度，突破传统育种的限制，创造出更多优良的新品种。
- **智慧育种（4.0版）**：育种进入由前沿科学技术引领的“生物技术（分子标记辅助育种、基因组选择、转基因、基因编辑、合成生物学等）+人工智能+大数据信息技术”的智能阶段。

目前，国际一流种业公司育种技术正由分子育种（3.0版）进入智慧育种（4.0版），中国处于常规育种（2.0版）到分子育种（3.0版）的过渡阶段。为了保障中国在世界农业中的安全地位，需要加快推进分子育种技术的发展和运用，提升中国的自主创新能力和国际竞争力。

亿欧智库：育种发展阶段



1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

自新中国成立以来，中国种业经历从“四自一辅”到“四化一供”，再到市场化改革、深化改革和发展变革五个阶段。不同阶段分别反映了中国种业在技术、模式、体系和政策等方面的演进和创新，也展现了中国种业在应对挑战、满足需求、提升竞争力等方面的成就和贡献，下面介绍中国种业发展的五个阶段及其特点。

亿欧智库：中国育种发展历程

四自一辅阶段（1949-1978年）

中国实行“自留地自留种、自留地自选种、自留地自繁种、自留地自交换以及辅之以调剂”的四自一辅模式；在全国建立起公社良种场为桥梁，生产队种子田为基础的三级良种繁育推广体系，无商品种子市场。这一时期，中国培育了一批适应不同生态区域和农业生产条件的优良品种，为农业生产和粮食安全奠定了基础。

四化一供阶段（1979-1999年）

实行“科研机构 and 政府部门主导育种、科研机构 and 政府部门主导推广、科研机构 and 政府部门主导生产、科研机构 and 政府部门主导供应”的公益性育种模式。形成四化一供方针：种子生产专业化、加工机械化、质量标准化、品种布局区域化，以县为单位统一供种。并且，建立种子基地：以大规模建设各类原（良）种市场和种子繁育生产基地为核心，逐步完善良种繁育推广体系。在该阶段中国开展了杂交水稻、杂交小麦等重大科技攻关项目，培育了一批具有高产、优质、抗逆等性状的杂交品种，为中国农业生产和粮食安全作出了重大贡献。

市场化改革阶段（2000-2010年）

实行“以市场为导向、以企业为主体、以法律为保障”的市场化育种模式，废止种业企业垄断经营，大量资本涌入，科研院所和高校纷纷建立种业企业，并被允许有偿转让科研成果。在此期间，颁布《中华人民共和国种子法》等相关法律法规，建立品种审定、登记、保护等制度，完善种子管理体系，推动事企分开。由此促进育种技术的创新和转化，培育了一批具有高效率、高质量、高附加值的新品种，为中国农业生产和粮食安全提供了更多选择。

深化改革阶段（2011-2021年）

实行“以创新驱动、以协同推进、以开放共享”的现代化育种模式，明确商业化育种的发展方向：鼓励科研院所及高校要开展基础性、公益性研究，确认种子企业作为商业化育种主体的地位。在这段时期，推进行业育种创新，深化种业体制改革，扶持龙头种企发展，鼓励龙头企业整合种业资源，加强育种基地建设。

发展变革阶段（2021—至今）

实行“以生物育种为核心、以产业化为目标、以国际化为方向”的变革性育种模式，强化打好种业翻身仗，颁布《种业振兴行动方案》、新《种子法》等相关政策文件。明确加强种质资源保护开发，对育种基础性研究及重点育种项目给予长期稳定支持，有序推进生物育种产业化应用，加强知识产权保护，支持龙头企业建立健全商业化育种体系。实施转基因品种审定政策，聚焦生物育种技术的攻关与产业化应用，培育了一批具有高效能、高品质、高安全性的新品种，为中国农业生产和粮食安全提供了更多动力。

目前，中国种业正处于发展变革阶段，未来将持续聚焦生物育种技术的攻关与产业化应用。与此同时，中国种业发展将面临新的机遇和挑战，种业企业产业格局将随着不同企业种业技术的发展及兼并购发生变化，新的商业模式下的育种服务企业将会出现，中国正在努力由种业大国迈向种业强国。

1 中国育种行业迎来再次发展

1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状

1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑

1.3 投资机构在种业方向布局

1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

中国育种行业迎来再次发展

◆ 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

经过多年发展，中国育种行业处于常规育种（2.0版）与分子育种（3.0版）结合过渡的阶段，由此也形成了一些独有的发展特征。

亿欧智库：中国育种发展特征

种质资源精准鉴定不足

中国种质资源收集保护方面跟国外差距不大，目前国家农作物种质资源库和国家海洋渔业资源库已建成运行，国家畜禽种质资源库开工建设，农业种质资源普查新收集资源52万份。但是，对种质资源评价与鉴定方面仍存在差距，如是否具有高产、优质等性状。国外发达国家起步早，对重要农作物的关键功能基因进行了鉴定挖掘，并通过持续选育完成了从遗传资源到育种材料的转变。未来高油高产大豆、短生育期油菜、耐密宜机收玉米、耐盐碱作物等优异种质是重点基因功能挖掘对象。

产业应用弱

中国科学家在生物育种技术与性状形成的基础研究方向取得了大量科研成果，处于国际领先水平。但研究的目标并不来自于产业需求，更多是科学家的兴趣驱动，这导致研究与产业的相对隔离，难以快速完成产业转化。此外，还涉及到大规模育种研发投入、生物安全考虑以及市场接受度等方面问题。品种改良开发初期阶段需要设备、人员培训和研发费用等较高的资金投入，成本回收周期长，导致大部分企业在分子育种技术研发投入上持观望态度。同时，基因编辑、转基因技术的应用还需明确的法律法规和政策支持。社会综合因素导致当下中国分子育种技术在产业应用率处于较低水平。

育种细分领域进程不一

中国分子育种技术在畜禽育种领域的产业化应用程度与作物育种有明显的差异。畜禽育种周期长、投入大，加上我国长期以来缺乏常规育种的数据积累，系谱数据错误较多，基因组选育容易为行业所接受，技术应用的障碍较少；相比而言，作物育种由于其植株的生命周期较短，存在一年两季甚至一年三季的情况，育种验证性周期短，加上单个标记的效应较大，绝大部分企业宁愿选择传统的表型育种，辅助以单个分子标记，形成了分子标记指导的定向改良模式。以上综合原因导致畜禽分子育种产业化应用与作物育种呈现完全不一样的发展模式。可能需要更多的时间来验证和应用分子育种技术。

中国分子育种行业发展特点，决定其要解决的“最后一公里”问题是技术端与产业端如何更好地相结合。这要加强科研成果的转化推广应用，制定有利于生物育种等先进技术的配套法规，形成种质资源利用、基因挖掘、品种研发、产品开发、产业化应用的全链条组织体系。

目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子育种技术的发展历程与现状综述

主流分子育种技术类型

基于生物技术的快速发展，分子标记辅助选择（MAS，Marker-assisted selection）、全基因组选择（GS，Genomic selection）、转基因、基因编辑等技术已成为分子育种技术的主要形式，已在动植物育种中广泛应用。其中分子标记辅助选择及全基因组选择技术为传统的表型选择育种提供了高效的选育方法，缩短了选育周期，显著提高育种效率。

根据植物自交纯化的特点，导致标记连锁距离大，较为容易鉴定到性状相关的致因基因，加上组培扩繁加代的速度较快，植物育种通常采用分子标记辅助育种，来帮助传统育种进行材料的筛检或缩短整个育种周期，转基因技术和基因编辑技术也广泛应用于植物育种。动物育种针对的主要是微效多基因控制的数量性状，全基因组选择育种技术相比单个标记具有天然优势，特别是针对限性、低遗传力以及难以测量的性状，此外还可以进行早期选择以缩短世代间隔，降低选育成本，通过持续选育，建立专门化品系。

亿欧智库：主流分子育种技术类型及应用

分子育种技术类型	主要技术	主要应用	应用案例
分子标记辅助选择	● 分子标记辅助选择（基于少量关键分子标记） ● 全基因组选择等（基于全基因组范围内的标记辅助选择）	● 前景选择、背景选择 ● 生长发育、育肥、屠宰、胴体、肉质、繁殖等重要经济性状	● 中麦996、中麦998等 ● 华西牛等
转基因	● 农杆菌介导法 ● DNA直接插入法 ● 植物病毒介导法等	作物耐除草剂、抗病虫害、抗旱性状改良	抗虫耐除草剂复合性状转基因玉米、耐草甘膦转基因大豆等
基因编辑	● ZFNs基因编辑技术 ● TALENs基因编辑技术 ● CRISPR/Cas基因编辑技术	农作物、动物、林木种质资源创制与性状改良	抗结核病牛、抗布病羊、蓝耳病和流行性胃肠炎双抗猪新品种等

随着测序技术发展，已完成了猪、奶牛、肉牛、羊、鸡、水稻、小麦、玉米、大豆、油菜、棉花、蔬菜，以及水产动物的基因组图谱绘制和部分功能基因挖掘工作。基于以上内容深入阐释基因组变异、染色体重组、基因组选择与驯化机制、性状形成的分子机制等，为后续育种实践提供理论基础。此外，前沿理论指导育种技术革新取得初步成效，转基因、基因编辑、合成生物学、人工智能、大数据、传感器等前沿交叉领域与传统育种技术相融合，新一代育种技术向智能化、精准化发展。

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

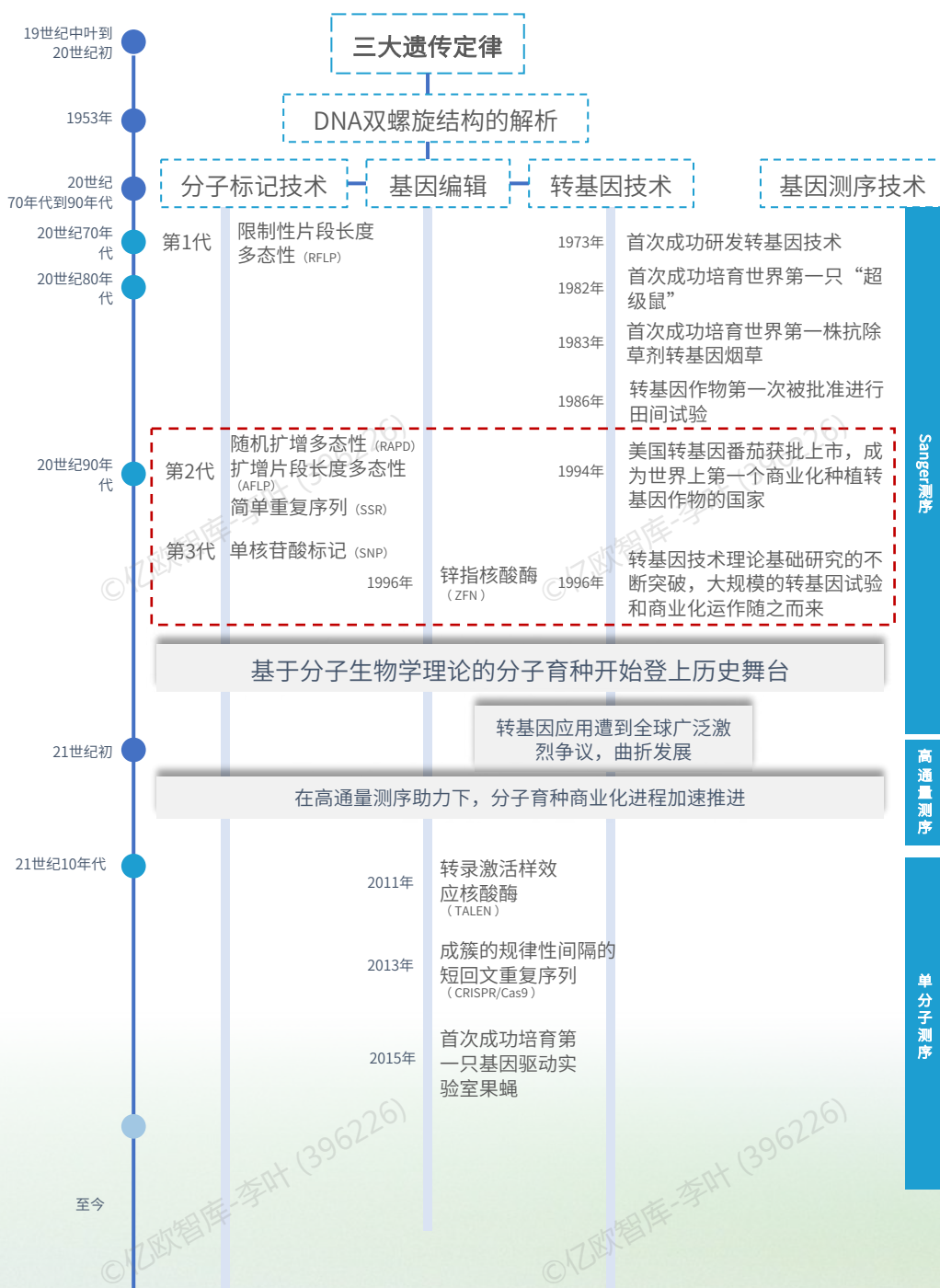
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子育种技术的发展历程与现状综述

基因测序奠定分子育种技术发展基础

从传统育种到分子育种的跨越，离不开科技进步，尤其是基因测序技术的高速发展，奠定了分子育种的技术基础。

亿欧智库：主流分子育种技术及基因测序技术发展历程



数据来源

公开资料、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

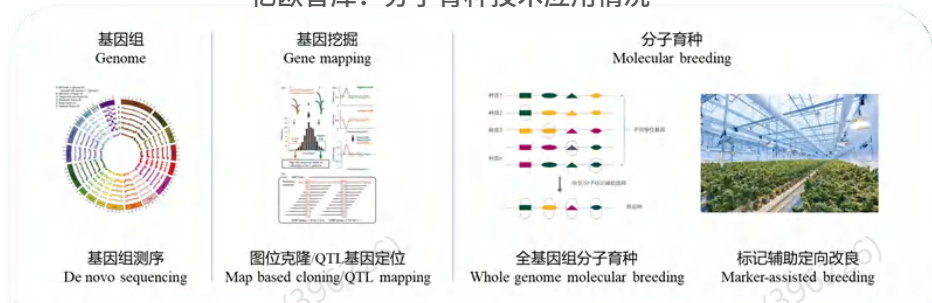
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子育种技术的发展历程与现状综述

得益于DNA分子标记技术的开发和转基因生物育种技术的发展，到20世纪90年代初，分子育种开始发展，特别是以功能分子模块和可遗传操作为特征的分子模块育种，大大增加了育种的目标性，明显减少了育种周期，品种培育效率得到大幅度提升。

无论是分子标记辅助育种、全基因组选择技术、转基因技术，还是基因编辑技术，都离不开基因测序技术的支撑。首先，基因测序技术可以确定生物体中特定基因的DNA序列，尤其是确定基因组中目标序列并进行后续操作，这对于分子辅助育种、全基因组选择、转基因和基因编辑等技术至关重要，以上技术都涉及到特定基因的识别、修改或引入。其次，基因测序还可以提供关于基因功能和调控的重要信息，了解基因功能和调控机制是转基因和基因编辑技术开发的基础。在实际分子育种过程中，不仅需要对目标基因有清晰定位和认知，还需要在种源材料经转基因、基因编辑改造后验证后续靶点。

亿欧智库：分子育种技术应用情况

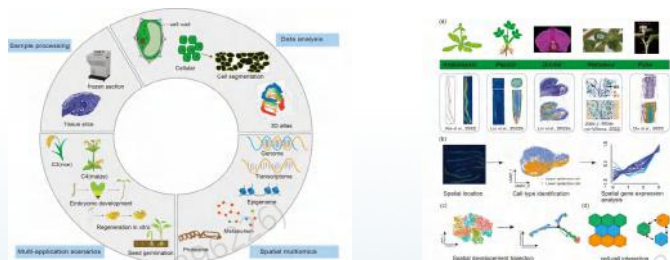


基因测序是分子育种的底层技术基础，通过测-算-改造完成育种过程，而基因测序技术贯穿育种完整过程，其应用效率直接决定育种成功率及效率。当前基因测序技术各具特点，在育种前期基础研究、育种实践中发挥各自优势。

除此之外，时空组学和细胞组学技术的进步正在推动植物育种研究进入新时代。

基于时空组学技术Stereo-seq，西北工业大学等团队首次绘制了洋葱鳞茎组织不同发育阶段的时空图谱，揭示了葱属植物重要性状形成和演化的分子机制，为了解葱属植物的基因组进化过程提供了线索，为推动葱属作物进入分子育种新阶段奠定了重要基础^[1]。

亿欧智库：Stereo-seq技术在植物应用中的挑战及未来展望



数据来源

[1] Hao, F., Liu, X., Zhou, B. et al. Chromosome-level genomes of three key Allium crops and their trait evolution. Nat Genet 55, 1976–1986 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41588-023-01546-0>
公开资料、华大智造、亿欧智库

相较传统的Bulk测序，单细胞测序技术可以更好的区分异质性细胞，捕捉到不同细胞类型的基因表达特征，绘制细胞图谱，筛选出调控关键性状的候选基因，例如胁迫响应或发育相关的基因等，支持鉴定和挖掘关键基因功能，为动植物的性状改良和育种提供新的技术方法。

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

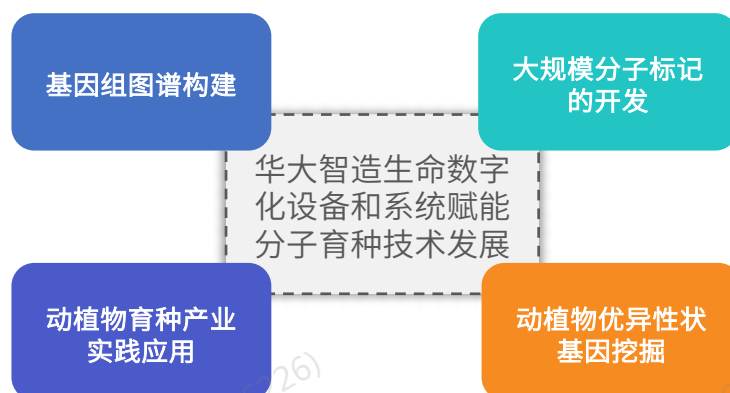
分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 分子育种技术的发展历程与现状综述

基因测序奠定分子育种技术发展基础

作为全球少数几家能够自主研发并量产从 Gb 级至 Tb 级低中高不同通量的基因测序仪企业之一，华大智造仪器设备、试剂耗材赋能农业育种应用，覆盖基因组图谱构建、动植物优异性状的基因挖掘、大规模分子标记开发、动植物育种产业实践应用等，致力于为农业科学家和育种工作者提供高品质、便捷、稳定的农业基因组研究产品。

亿欧智库：华大智造农业基因组研究产品方案



亿欧智库：华大智造农业基因组学研究产品方案



2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子育种技术的发展历程与现状综述

高通量表型精准鉴定能力需要进一步发展

随着测序技术的发展和普及，中国水稻、玉米、小麦等主要农作物基因组精细图谱已经完成，功能基因组研究已经进入高通量时代，表型数据的检测贯穿于种业生产的品种繁育、品种测试、示范推广各个环节。但是，传统表型性状获取手段的测量通量低、耗时费力、精度不高、破坏性等缺点，已不能满足飞速发展的基因组学辅助育种需求。获取精准表型组数据是提高育种效率的基础：需要把表型组和基因组数据进行关联分析，快速准确地筛选目标性状和基因。然而，表型组大数据是一项科学系统工程，其依赖传感器、表型平台、无线通信、数据库、大数据分析等现代信息技术和机械装备：利用传感器、表型平台等数据获取手段，高通量的获取作物初始表型数据，进行精准鉴定。

亿欧智库：高通量表型测定技术路径



中国在作物表型高通量信息获取与精准鉴定方向已有一定积累，但受制于表型高通量获取装备被发达国家所垄断，因此部分核心技术仍处于模仿阶段。其中，高分辨率、高精度的传感器和核心部件，成像单元，高通量表型平台等设备主要依赖于进口。同时，国内外在数据传输、表型解析算法软件、表型信息的挖掘与应用等方面仍面临挑战。面对上述挑战，赵春江院士提出，建设表型组大数据技术及装备方面的大科学工程，形成作物表型组大数据“获取－解析－利用”技术体系，实现“基因－表型－环境”多维组大数据整合与分析利用，在数字育种、智慧栽培方向提出中国方案^[1]。

数据来源

[1] 温维亮, 郭新宇, 张颖等. 作物表型组大数据技术及装备发展研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(04): 227-238.
华谷研究院、公开资料、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

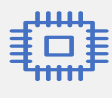
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

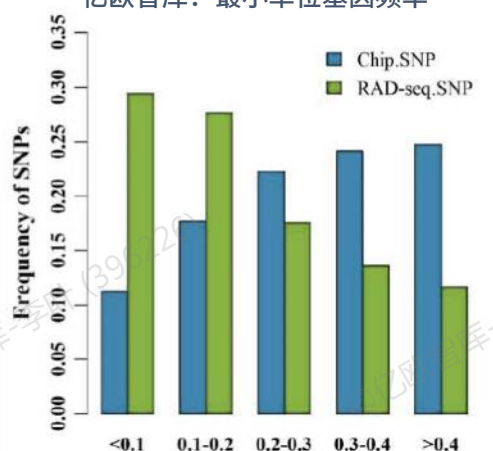
分子标记辅助选择（MAS）是利用与目标性状相关致因基因紧密连锁的分子标记，进行目标性状的标记辅助选择。MAS具有可靠性、高效率、遗传稳定以及位点丰富等优点，可以通过精准选择目标性状提高育种效率，而且不受外界环境的影响，大大加快了育种进程。

基因型检测技术的发展为功能基因的鉴定和分子标记育种大规模应用创造了条件。基因型检测按照阶段可以分为三大阶段：凝胶电泳、基因芯片和基因测序。基因测序作为新一代基因型检测技术具有使用灵活、成本低的优势，将随着技术的发展逐渐推动分子标记辅助选择技术的广泛应用。华中农业大学-赵书红团队对453头大白猪分别进行RAD-Seq(基于BGISEQ-500) 和Geneseek Procine 50K SNP芯片分型，结果发现与SNP芯片相比，RAD-Seq检测出更多的低频SNP基因型，两者成本相当，但通过RAD-seq获取的SNP数量是通过SNP芯片获取数量的3倍，且鉴定到新的与初生重相关的标记位点^[1]。

亿欧智库：基因型检测技术的发展

	 凝胶电泳	 基因芯片	 基因测序
通量	低通量	高通量	超高、高通量
企业	企业较多	海外企业为主	华大智造等
场景	农作物种子品种纯度检测等常用	满足产业化育种中低密度标记密度的需求	种质资源基因挖掘、标记位点，满足产业化育种中高密度标记密度的需求
特点	技术成熟，成本高	技术成熟，成本相对低，用时短	使用灵活，高度自动化，成本低

亿欧智库：最小单位基因频率



数据来源:

[1]李勇. 不同SNP分型技术在猪基因组选择中效果评估及全基因组关联研究[D]. 华中农业大学, 2020.
 华谷研究院、公开资料、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

分子标记辅助选择在质量性状或由单个主效基因控制的数量性状改良中得到成功应用，但由于数量性状遗传基础的复杂性和QTL定位的限制性，导致分子标记辅助育种在复杂数量性状改良，特别是多个微效基因控制的性状改良的应用存在诸多限制。全基因组选择技术（Genomic Selection, GS）则有效避免了以上情况，其利用覆盖全基因组的分子标记关联主效和微效基因，并进行复杂性状育种预测，具有准确率高、高效的特点。该技术成为了畜禽分子育种中的研究热点和跨国公司竞争的焦点。

全基因组选择的发展对基因型检测提出了新的要求：高通量、成本可控、稳定性。以华大智造为例，DNBSEQ-T7等产品以DNBSEQ™为核心技术，拥有超高通量、高准确度、低Adapter Rate、低Duplication Rate（减少无效重复）、低Index Hopping（减少错误）等技术特点，能够满足全基因组选择在分子育种领域应用的需求。随着测序成本的快速降低和统计方法的快速发展，基于测序的全基因组选择技术已成为分子育种尤其是畜禽水产分子育种的重要有效方法，也逐步在重要农作物和林木育种中得到应用。

亿欧智库：华大智造基因测序仪相关参数

	icWGS*	DNBSEQ-G99	MGISEQ-200	MGISEQ-2000	DNBSEQ-T7
		简单，灵活，极速	小巧、灵活	高效、灵活	超高通量、超快速度、超低成本
样本数 (1.5G**/sample)		50	48	192	1, 920
读长		PE150	PE150	PE150	PE150
测序时间h		12	26	44	20
年通量***		7,500	7,200	28,800	280,000



数据来源

公开资料、华大智造、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

转基因技术是利用现代生物技术，将期望的目标基因，经过人工分离、重组后，导入并整合到生物体的基因组中，从而改善生物原有的性状或赋予其新的优良性状。

转基因技术已经成为全球发展最成熟、应用最广泛的生物育种技术。在农业方面，转基因技术主要包括作物领域的农杆菌介导法、基因枪法、花粉管通道法等，在畜禽水产领域的核显微注射法、精子介导的基因转移法、核转移转基因法、逆转录病毒法等。

亿欧智库：主流转基因技术

物种	技术原理
作物	农杆菌介导法： 农杆菌细胞Ti质粒或Ri质粒有一段T-DNA经改造可插入外源基因片段，可通过侵染植物伤口向植物基因组植入外源基因的T-DNA。
	基因枪法： 通过基因枪，将带有外源基因的金属颗粒打入植物细胞，外源目的基因随机插入植物基因组。
	花粉管通道法： 在植物开花时，向植物花器的子房中注射含外源基因的DNA溶液，使外源基因沿着植物花粉管通道进入胚囊，整合到植物细胞基因组中，随着受精卵的发育而产生转基因新个体。
畜禽水产	核显微注射法： 在倒置显微镜微量注射台上，利用玻璃微量注射针直接将外源重组DNA注射到受精卵原核中，体外培养受精卵并将其移植到受体动物子宫内发育。
	精子介导的基因转移法： 通过体外受精方式，使精子携带外源基因后进入卵子，并使外源基因整合于基因组中。
	核转移转基因法： 将外源基因转入体外培养的体细胞中，筛选获得带有转基因的细胞将其细胞核取出移入新的去核的卵母细胞中，培育重组胚胎并移植到母体中，从而产生转基因动物。
	逆转录病毒法： 利用逆转录病毒DNA的LTR区域具有转录启动子活性的特点，将外源基因重组到逆转录病毒载体上，制成高浓度的病毒颗粒直接感染受精卵或微注入囊胚腔中，通过病毒将外源基因插入整合到宿主基因组中。

数据来源

华谷研究院、公开资料、华大智造、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

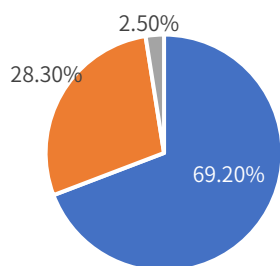
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

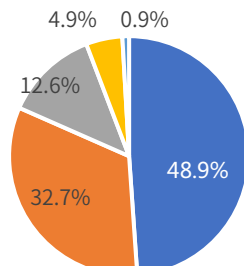
从应用方向来看，抗除草剂、抗虫是当前转基因育种主要的应用方向。抗除草剂是全球转基因作物商业化以来的主导性状，复合性状（抗虫/抗除草剂、抗虫/抗病、抗除草剂/品质等多种组合）则超过抗虫性状成为排名第二的性状。

从作物品种看，大豆、玉米、棉花、油菜是全球最主要的转基因作物，本世纪以来，以上四种转基因作物全球总种植面积占比均在98%以上。此外，还有一些新兴的转基因作物品种，如抗虫甘蔗、抗干旱小麦、富含维生素A的黄金大米等，也在不断开发和推广。这些作物主要具有改善品质和/或适应环境等性状。

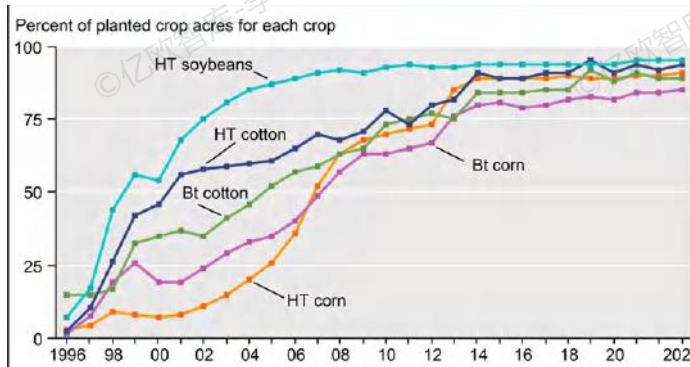
亿欧智库：2022年全球转基因作物性状面积分布



亿欧智库：2022年全球转基因作物品种面积分布^[1]



亿欧智库：1996-2023年美国不同转基因玉米种植面积占比变化



Note: HT indicates herbicide-tolerant varieties; Bt (*Bacillus thuringiensis*) indicates insect-resistant varieties (containing genes from the soil bacterium Bt). Data for HT/Bt corn and cotton are not mutually exclusive, as HT and Bt categories include those varieties with overlapping (stacked) HT and Bt traits. Source: USDA, Economic Research Service using data from the 2002 ERS report, Adoption of Bioengineered Crops (AER-810) for 1996-99 and National Agricultural Statistics Service(annual) June Agricultural Survey for 2000-23

转基因动物育种也取得了令人瞩目的成果，在改良家畜生产性状、提高家畜抗病力以及生产非常规畜牧产品（如人药用蛋白和工业用酶）等方面显示了广阔的应用前景。例如：利用羊乳腺反应器生产的重组人抗凝血酶III（ATryn）已经在欧洲和美国上市，成为世界上第一例成功上市的转基因动物乳腺生物反应器药物；重组人血清白蛋白（rhSA）也已经从转基因牛乳中提取并进行临床试验。

亿欧智库：转基因动物育种成果

重组人抗凝血酶III(ATryn)

第一例成功上市的转基因动物乳腺生物反应器药物。

数据来源：

[1] <http://ngx.179c.com/p2580.html>
华谷研究院、公开资料、Agbiolnvestor, ISAAA、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

制定标准规范转基因技术的应用

中国对于转基因农作物持谨慎、严谨态度。2023年中央一号文件提出，加快玉米大豆生物育种产业化步伐，有序扩大试点范围，规范种植管理。在推动试点的同时，相关部门根据《种子法》《食品安全法》《农业转基因生物安全管理条例》等法律法规严格监管，依法打击制种、售种、种植、加工、销售等环节违法行为，落实产品标识管理制度，确保产业化应用规范有序。为加强对转基因产品的管理，发展转基因产品成分检测技术尤为重要，当前针对基因作物及产品的检测法以核酸水平的检测和蛋白水平的检测为主。

亿欧智库：主要转基因检测技术及其特点

基因检测类别	基因检测技术	特点
以核酸水平的检测	定性PCR检测、定量PCR检测、数字PCR检测	容易因气溶胶实验室污染和烟草花叶病毒等植株污染导致假阳性
	靶向测序	检测技术更加精准、更加灵敏、性价比高
以蛋白水平的检测	酶联免疫吸附法、侧向流动型免疫检测、免疫印迹法	依赖目标蛋白的反应，特异性和敏感性易受影响

当前基于靶向测序技术已制定GB/T 38570-2020植物转基因成分测定目标序列测序法的国家标准，其有望在国家层面对已知和未知的转基因事件进行更全面的监管，彻底避免由于基因检测假阳性而引发的大量纠纷与矛盾。随着高通量测序技术的不断进步和降价，靶向检测技术的优势将更加明显，其应用范围和水平将更加广泛和深入。

亿欧智库：转基因成分鉴定示意图



GB/T 38570-2020 植物转基因成分测定目标序列测序法

主要起草单位：江汉大学、中国标准化研究院、北京工商大学、湖南杂交水稻研究中心、张家口市农业科学院、武汉明了生物科技有限公司、农业农村部科技发展中心、北京市农林科学院蔬菜研究中心、华南农业大学、[深圳华大智造科技有限公司](#)

数据来源

公开资料、华大智造、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

近年来，科学家充分研究蛋白质结构和核酸内切酶的特点，开发出了识别特异序列位点的人工核酸内切酶技术，该技术可以按照人们的意愿定点特异识别DNA序列，实现基因组的定点编辑和修饰。目前基因编辑技术主要有ZFNs、TALENs、CRISPR基因编辑技术，因设计简便、效率高、成本低等特点，基因编辑技术在动植物遗传改良等领域得到迅速应用。

尽管运用ZFNs和TALENs技术已经在多种动物及植物中成功实现了基因的定点编辑，但这两种技术定向打靶依赖于特定蛋白结构域组合对目标DNA序列的识别，模块构建繁琐费时且打靶效率低，致使其应用进展缓慢，而CRISPR/Cas技术具备操作简单、周期短、效率高等优点，未来有望成为主流技术。

亿欧智库：不同基因编辑技术的优劣势对比

基因编辑技术	技术原理	靶点DNA序列识别区域	DNA剪切	核酸酶构建方式	所识别靶点大小	最小模块识别碱基数量	优点	缺点	基因修饰率
ZFNs	两种ZFNs与DNA结合后，其C端的Fok I切割结构域会在作用位点形成二聚体，并发挥功能，使双链断裂	锌指（ZF）结构域	Fok I核酸酶结构域	3-4个ZF结构拼接	(9-12bp) ^{*2}	3	平台成熟，效率高于被动同源重组	细胞毒性，设计依赖上下游序列、脱靶率高、具有细胞毒性	—
TALENs	TALEN由TALE基序串联成决定靶向性的DNA识别模块，与Fok I结构域连接而成。一个TALE基序识别一个碱基对，因此串联的TALE基序与所识别的碱基对是一一对应的关系	重复可变双残基（RVD的重复）	Fok I核酸酶结构域	8-31个重复可变双残基的拼接	(8-31bp) ^{*2}	1	设计较ZFN简单，特异性高	细胞毒性、模块组装过程繁琐、成本高	0-34%
CRISPR/Cas9	实际应用中，CRISPR/Cas9系统通常包含一个Cas9蛋白和一段根据靶位点设计的sgRNA序列，Cas9核酸酶在gRNA的引导下对DNA特定位点进行切割产生的DNA双链断裂	RNA	Cas9蛋白	RNA合成	20bp+NGG ^{*1}	1	靶向精准、脱靶率低、细胞毒性低、可实现多基因编辑	靶区前无PAM则不能切割，特异性低、NHEJ会产生随机毒性	51-79%

数据来源

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

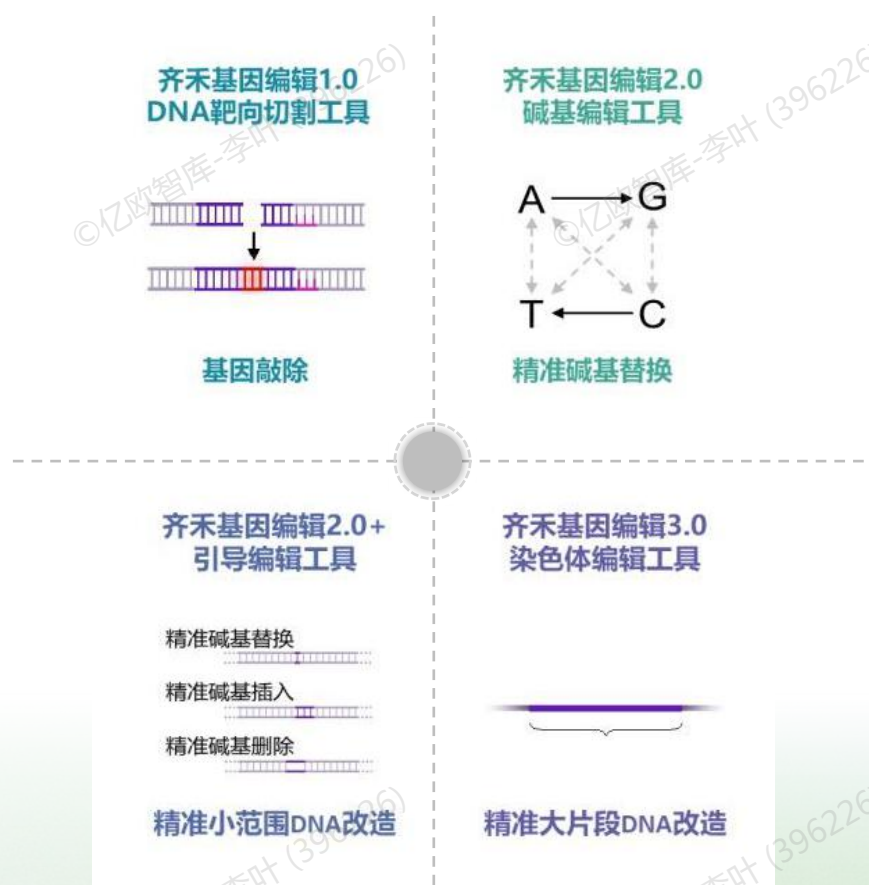
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

自2012年CRISPR-Cas9首次应用于基因编辑以来，基因编辑技术经历了数次迭代，其中第一代CRISPR技术已被快速应用于生命研究的多个领域，但其编辑存在一定的随机性，最终产生的突变类型不可控，难以实现对作物农艺性状的精准改良。第二代基因编辑技术以碱基编辑和引导编辑技术为主，已升级可以实现四种碱基的任意替换和短片段DNA的精准插入或删除，实现由不精准到精准编辑的跨越。当前，全球基因编辑技术已进入第三代基因编辑时代，实现高效的大片段DNA甚至染色体层面的操纵技术。

齐禾生科是一家新型基因编辑技术的生物高科技企业，其基于多年在植物基因编辑技术领域的技术研发积累，已拥有基于CRISPR-Cas系统的系列基因编辑核心技术，囊括了第二代、第三代基因编辑技术，在植物中能够实现基因的敲除、碱基精准替换、DNA片段精准删除、基因表达的精细调控以及长片段DNA精准敲入等复杂的基因/基因组操作。

亿欧智库：齐禾生科基因编辑技术



数据来源

公开资料、华大智造、齐禾生科、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

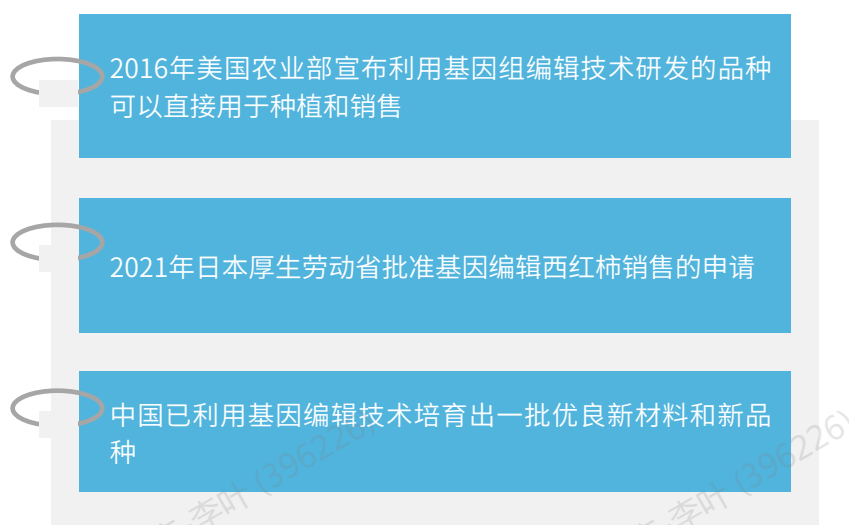
2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

目前，基因编辑技术已经在主要农作物、畜牧业以及林木种质的育种领域得到广泛应用，已获得抗旱玉米、抗病小麦和水稻、油分品质改良的大豆、存储质量改良的马铃薯、抗腹泻猪、抗蓝耳病猪、双肌臀猪牛羊、基因编辑无角牛等基因编辑动植物^[1]。基因编辑技术已经显示出巨大的发展潜力，预计3~5年内会有一大批基因编辑品种逐步实现产业化^[2]。

亿欧智库：基因编辑技术在各国的应用^[3]



在中国农业领域，基因编辑技术研究应用达到了国际先进水平，已培育出抗除草剂基因编辑水稻、小麦、油菜，具有抗褐飞虱、抗螟虫、耐镉富集或耐干旱等特殊性能的基因编辑水稻等一批优良新材料和新品种^{[4][5][6][7]}。在畜牧业领域中，中国率先获得抗结核病牛、 β 乳球蛋白基因敲除牛、抗布病羊、蓝耳病和流行性胃肠炎双抗猪新品种，以上大多数均属于国际首创，具备良好产业化基础^[2,3]。

作为转基因技术的发展前沿，基因编辑缓解了转基因技术的安全争议，且具可控性强、商用领域广、安全价值高等优点，成为当下种业发展焦点。

数据来源

[1]林敏. 农业生物育种技术的发展历程及产业化对策,转基因技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2020

[2]马宇浩,高爽,董向会,等. 基因编辑在农业动物中的应用进展[J]. 农业生物技术学报,2020,28(12):2230-2239.

[3]ZHU H, LI C, GAO C. Applications of CRISPR-Cas in agriculture and plant biotechnology[J]. Nat. Rev. Mol. Cell Biol.,2020,21(11):661-677.

[4] Lu, Y., Wang, J., Chen, B., Mo, S., Lian, L., Luo, Y., ... & Jiang, L. (2021). A donor-DNA-free CRISPR/Cas-based approach to gene knock-up in rice. Nature plants, 7(11), 1445-1452.

[5]张玉池,王晓蕾,徐文蓉等.国内外抗除草剂基因专利的分析[J]. 杂草学报,2017,35(02):1-22.DOI:10.19588/j.issn.1003-935X.2017.02.001.

[6]吴慧敏. 抗除草剂水稻培育及应用研究[D]. 华中农业大学,2006.

[7]崔莹. 新型转基因抗除草剂水稻培育[D]. 华中农业大学,2019.

公开资料、华大智造、亿欧智库



2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

脱靶检测技术将有助于降低基因编辑安全风险

尽管CRISPR在分子育种研究中已经得到广泛应用和迅速发展，但脱靶问题给研究带来一定程度上的不确定性和安全风险，也是限制其发挥更大作用的主要原因之一。如何正确评估、检测脱靶效应，并提出相对应的策略降低脱靶效应，是当前基因编辑研究领域的重要方向。基因测序可以用于基因编辑后代的快速检测，和基因编辑中的脱靶分析。

亿欧智库：常见脱靶检测方法^[1]

检测类型	检测方法	特点
软件预测和测序组成	如 Sanger 测序、NGS 测序、全外显子组测序等	该类技术存在明显的偏向性，其主要针对的是软件预测的脱靶位点，而软件预测往往容易造成部分脱靶位点的遗漏。
全基因组无偏脱靶检测	如IDLVs、BLESS、GUIDE-seq 技术等	实现了全基因组无偏检测，但是其只能检测断裂时期的DSB，对于已经修复或者未发生的DSB 则不能检测。
体外脱靶	Digenome-seq、Circle-seq、SITE-seq 等技术	从全基因组角度实现了无偏检测，且精度较前两类技术更高，唯一存在的问题是Cas9在体内和体外发挥作用时可能会存在一定的差异。

准确无误的全基因组测序数据是得出正确结论的关键，高质量测序数据主要得益于建库和稳健高效的测序仪。韩国生命科学技术研究院科研团队近期在Nature Biotechnology发表了基因编辑最新研究成果，利用DNBSEQ-T7平台（华大智造）完成了基于Digenome-seq测序的CRISPR-Cas12f1脱靶效应验证^[2]。上述研究结果表明，DNBSEQ-T7测序平台能够提供高质量全基因组测序数据，用于基因编辑结果检测、特异性和脱靶效应鉴别等。

亿欧智库：华大智造基因编辑脱靶检测流程



数据来源

[1] 张晨, 雷展, 李凯, 商颖, 许文涛. CRISPR/Cas9 系统中的脱靶效应及检测技术研究进展[J]. 生物技术通报, 2020, 36(03): 78-87. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2019-0871.
 [2] Kim, D., Bae, S., Park, J., Kim, E., Kim, S., Yu, H. R., ... & Kim, J. S. (2015). Digenome-seq: genome-wide profiling of CRISPR-Cas9 off-target effects in human cells. Nature methods, 12(3), 237-243.
 亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

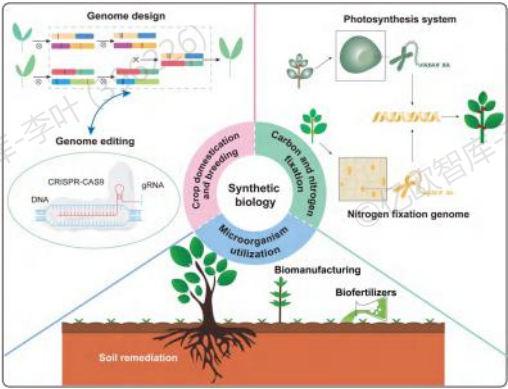
◆ 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

合成生物学主要是“以分子生物学和分子遗传学等传统生物学为基础，结合多种组学和系统生物学的手段，采用基因合成、编辑、网络调控等新技术并利用工程学和计算机指导设计新的生命体或者改造现有生命体的一门综合学科”^[1]，被誉为是“改变未来的颠覆性技术”^[2]。

基因合成、基因编辑、蛋白质设计、细胞设计、高通量筛选等创新技术是支撑合成生物学发展的关键，其中，基因测序、DNA合成以及基因组编辑技术都是其核心关键技术。

基于合成生物学的强大优势，越来越多的学者利用合成生物学思路和方法解决农业中的关键性问题。研究学者指出：“合成生物学在农业领域”当中的应用和发展趋势，其分别为：作物育种、植物在固碳（光合）和固氮上的改进，以及农业中微生物的改造与运用，其中能够实现或接近商业化的应用仅集中在作物育种、微生物固氮、生物制造等方面。相比之下，固碳、固氮和代谢途径的改造仍处于概念阶段。

亿欧智库：合成生物学应用路径



全球农业领域的龙头企业的先正达集团，正在制定生物制剂的全面战略：推出了农用微生物肥料新产品，推进生物科技产品的研发进入合成生物学时代。另一巨头，拜耳作物科学也与合成生物学平台公司Ginkgo Bioworks联手成立子公司Joyn Bio，专注于工程固氮微生物。此外，拜耳作物科学和先正达集团也在作物生物育种方面进行布局，这其中就包括了CRISPR等技术的运用。

亿欧智库：合成生物学应用领域及企业情况

应用领域	公司
作物育种	拜耳作物科学、先正达集团、Pairwise、Tropic Biosciences 等
生物肥料	拜耳作物科学、先正达集团、Joyn Bio、Pivot Bio 等
绿色农药	Zymergen, Provivi, 等

数据来源

[1]张博,马永硕,尚轶等.植物合成生物学研究进展[J].合成生物学,2020,1(02):121-140.
[2]张先恩.中国合成生物学发展回顾与展望[J].中国科学:生命科学,2019,49(12):1543-1572. ZHANG X E. Synthetic biology in China: review and prospects [J]. Sci. Sin. (Vitae), 2019,49(12):1543-1572.
华谷研究院、亿欧智库

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

种业是农业的芯片，育种科技创新是农业发展的动力源泉。传统常规育种大多依赖于育种家经验，精准度差、育种周期长、育种效率低下，难以应对复杂多变的环境。近年来，随着生物技术（Biological Technology, BT）和信息技术（Information Technology, IT）的快速发展，一种新的育种模式——智慧育种逐渐兴起，即育种4.0阶段。智慧育种是将BT与IT在种业领域深度融合，利用现代化技术更快、更优、更高效地培育动植物新品种。

分子育种技术主要属于育种3.0阶段技术，包括遗传修饰育种（如转基因、基因编辑）和基因组辅助育种（如全基因组选择），主要借助生物技术（BT）手段为育种服务。而智慧育种属于育种4.0阶段技术，其不仅涉及生物技术（BT）获取基因组、转录组等组学数据，改造基因结构等，而且涉及信息技术（IT）高通量获取表型数据、环境数据等大数据，并将多组学多维度大数据综合分析预测，为育种服务。

政策推动助力智慧育种新征程

在党中央、国务院的政策指引下，农业农村部编制的《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》（以下简称“规划”）中明确提出，到2025年智慧农业发展迈上新台阶，大力发展智慧种业、智慧农田、智慧种植、智慧畜牧、智慧渔业、智能农机、智慧农垦，提升农业生产保障能力，其将“智慧种业”列在“智慧农业”领域七大攻关任务之首。该规划中明确提出：构建数字化育种平台，探索基因型到表型的“智慧育种技术体系”，加快“经验育种”向“精确育种”转变的攻关目标。由此可见，智慧育种将成为农业育种新范式。

亿欧智库：中国重点省市智慧育种产业布局

深圳

2020年12月4日，深圳市委召开加快创新驱动发展专家代表座谈会。市委书记王伟中强调，要深入推进“BT+IT”产业发展。

上海

依托上海强大的生物医药和人工智能产业基础，举办2022上海生物计算论坛，聚焦“BT+IT”产业发展。

苏州

BT+IT融合创新中心已启用在即，旨在布局生命健康和信息技术跨学科融合的产业领域，打造新型融合型产业集群。

杭州

据长城战略咨询报告显示，杭州已囊括了一批发力医疗大数据、互联网医院、AI辅助诊疗、基因科技等“BT+IT”领域的企业。

成都

高度聚焦“BT+IT”产业，设立重点赛道子基金，建造成都前沿医学中心，推动数字经济与生物医药产业深度融合。

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

智慧育种发展依托生物技术与信息技术深度融合

挪威生命科学大学研究员，法国国家科研署（ANR）的项目评审专家，致守科技（北京）有限公司联合创始人兼首席科学家栾图博士认为，中国发展智慧育种具有以下三项优势：1、国家层面高度重视，把种业振兴作为国家战略，进行大规模投入，以举国之力发展种业振兴是国际其他国家无法比拟的优势；2、中国拥有全行业工业门类和全产业链优势，育种4.0需要以发达的现代化工业为基础，利用物联网、智慧农机等产业链实现真正的智能化，中国工业产业链完善，极大助力了育种4.0发展；3、中国在BT与IT领域的技术积累在国际上相对占有优势，在这些领域也拥有雄厚的人才红利资源。在这三项优势的助力下，栾图博士表示，乐观预计下在5-10年后，中国育种4.0可将发展到相对成熟的阶段。

具体来看，BT涵盖基因组学、基因编辑、合成生物学等，其可以揭示农业生物的遗传信息，改造基因结构，创造新的生物类别。IT涵盖数据科学、机器学习、人工智能等。在王向峰、才卓撰写的《中国种业科技创新的智能时代——“玉米育种4.0”》论文中，对于育种4.0阶段进行了详细描述：育种科研人员将依托生物与信息技术，推动育种向智能化方向发展。

亿欧智库：智慧育种技术依托

通过基因测序技术与人工智能图像识别技术为基础，利用基因型与表型数据的自动化获取与解析，实现作物组学大数据的快速积累。

以生物信息学与机器学习技术为依托，通过遗传变异数据、各类组学数据、杂交育种数据的整合，实现作物性状调控基因的快速挖掘与表型的精准预测。

BT&IT

以基因编辑与合成生物学技术为依托，通过人工改造基因元器件与人工合成基因回路，实现作物具备新的抗逆、高效等生物学性状。

以作物组学大数据与人工智能技术为依托，通过在全基因组层面上建立机器学习预测模型，建立智能组合优良等位基因的自然变异、人工变异、数量性状位点的育种设计方案，实现智能、高效、定向培育新品种。

2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

智慧育种突破性进展

智慧育种优势明显，目前也已经在科研和产业中取得了一些突破性进展。例如：中国农业科学院作物科学研究所与阿里巴巴公益基金会牵头，共同推动建立生物技术（BT）、信息技术（IT）与智能技术（AT）的深度融合的“3T智慧育种”平台，为加快培育作物新品种提供重要技术支撑。华中农业大学动物遗传育种团队集成了研究成果，研发了“HiBLUP（天权）育种大数据处理平台”，用于解决基因组选种、选配大数据计算的难题，彻底摆脱了育种值计算核心专利FSPAK（美国）的限制，能够不依赖任何第三方软件包，独立开展基因组选种和基因组选配。

亿欧智库：BT和IT交叉融合的智慧育种区别于过往育种的主要优势



亿欧智库：HiBLUP（天权）育种大数据处理平台



2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

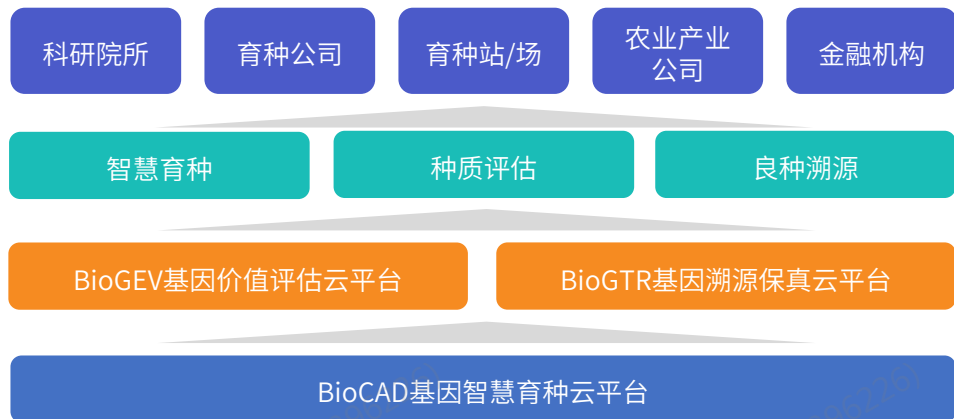
分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

智慧育种突破性进展

在智慧育种产业应用方向，致守科技聚焦于“智慧种业”领域，以“育种4.0”为核心驱动，以全基因组选育为核心技术，实现将生物基因科技与人工智能深度融合；不仅提供从种业上游“基因选育改良”，并延伸到中游“品种价值评估”，以及下游“良种溯源保真”，提供了全产业链闭环解决方案。智慧育种正处于快速发展阶段，技术的不断更迭和交叉融合将为农业育种行业注入新的生命力。

亿欧智库：BioCAD基因智慧育种云平台系统



在基因到表型的智慧育种决策应用中，极智基因与天丰智慧、慧诺瑞德三家企业基于共同的理念及目标，联合成立了“数字种业”联盟，依托在各自领域的技术优势，围绕数字种业为核心，展开表型装备、基因型分析技术、生信分析软件、育种模型、数字育种平台等自主研发，提供从基因、表型、环境、AI算法全套方案，实现整个育种过程的数据采集、运算、分析，到最终方案的一键式服务。

亿欧智库：数字种业联盟



2. 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述

2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状

2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变

2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点

2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状

2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

分子育种技术是种业革新的动力与源泉

◆ BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

智慧育种面临的发展困境及解决方案

智能化育种的前提是标准化大数据体系，但目前农业数据采之不易且不统一。中国工程院院士赵春江表示，未来的智慧育种，需形成一个品种、一个标样、一套田间性状、一套DNA数据的全国统一品种数据库。种业大数据平台的建立，有助于品种保护、审定、登记、各业市场运行监测等在线管理。

智慧育种需要以高质量数据库的建立为基础来发展，这也成为当下BT与IT技术融合过程中需要解决的核心问题。目前来看，农业育种领域中的行业机构缺少建设生物信息分析或数据管理平台的经验，需要有经验的专家共同设计完整的顶层规划。同时，在数据库建立的过程中，也存在基因数据存储、管理、投入成本以及机房空间等各种问题。

亿欧智库：智慧育种面临的发展困境

基因数据存储管理成为瓶颈	在建立育种数据库的过程中，需要对大量品种进行鉴定，产生TB级的基因数据以及表型等数据，对生物数据存储容量需求大，对宽带性能要求高。
基因数据管理难	大量基因型和表型等样本数据，除存储需求外，还应做到按需调用。这是数据库建立过程中需要解决的核心问题。
投入成本高	基于育种大数据需求，需要配备超大容量的存储空间。当前数据存储单体成本高，大规模建设单次投入大，云上部署持续性成本高。需要找到大数据存储与成本之间的平衡。
机房空间不足	已有的传统机房空间有限，承重、制冷等能力不足，改造面临很大困难。

亿欧智库：华大智造面向农业育种方向基因数据安全需求的“存管算用”BIT产品



算：基因测序极致交付

高性能计算集群；CPU+GPU+FPGA异构算法

管：实验室信息管理系统

支持千万级样本基因测序；自动化样本生命周期管理

存：基因数据管理系统

高性能、高密度、大容量、并行读写；全生命周期基因数据管理

用：多组学科研平台

多组学科研流程；自动化分析调度及管理

目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 分子育种产业链概述与产业链图谱

分子育种产业链是指利用分子生物学技术进行动植物育种的一系列活动和过程，这会涉及到多个领域和环节，组成分子育种产业链全流程。具体而言，不同的产业链环节发挥的市场价值和作用不同，本章节将对分子育种产业链的上游、中游、下游进行介绍，分析中国分子育种产业的发展现状和前景。

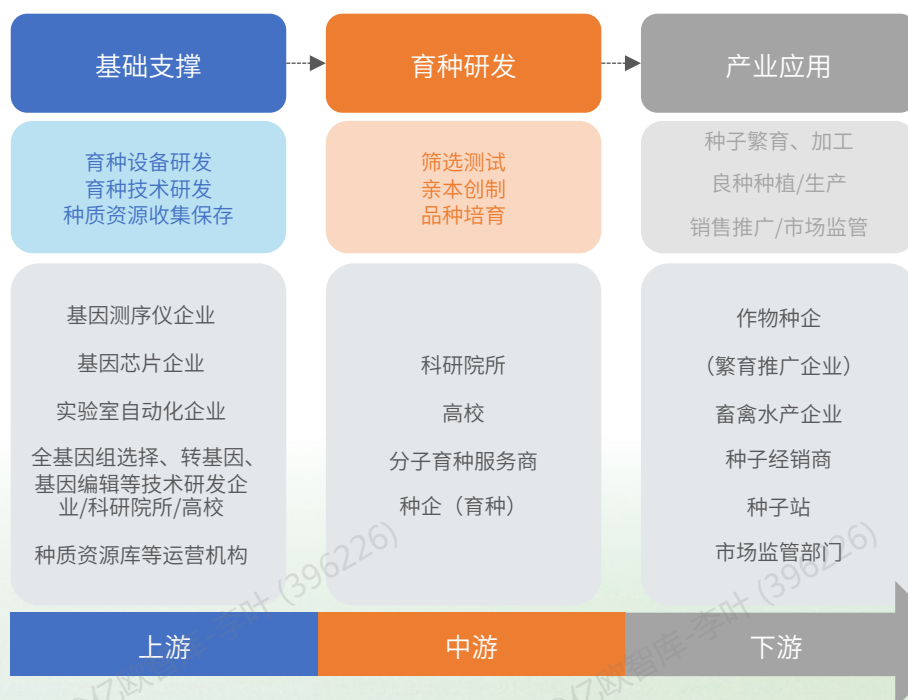
- **上游产业链**：是分子育种的基础支撑，主要包括育种过程涉及仪器设备、创新生物育种和信息技术开发、种质资源收集保存等方向，为分子育种提供必要的仪器设备和技术研发能力，是产业链的核心部分。

育种过程涉及仪器设备主要指分子生物学实验中的仪器和设备，如基因测序仪、PCR仪、电泳仪等。仪器设备的发展水平和创新能力直接影响着中游和下游环节的效率和质量，也决定着分子育种产业的竞争力和发展前景。

创新育种技术开发主要指发现或创造育种新技术，例如：基因发现与分析，基因组编辑工具开发，生物信息学和数据分析、功能验证与模型构建，以及多样性管理等内容，最终推动分子育种新技术的应用落地。

种质资源收集保存主要指对动植物种质资源进行收集摸底，对其遗传多样性和优良性状的调查和评价，如建立种质资源库、种质资源鉴定与评价等，它们能够丰富和优化育种资源，为育种选择提供材料支持。

亿欧智库：分子育种产业链概述



数据来源

公开资料、亿欧智库、华谷研究院

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 分子育种产业链概述与产业链图谱

- **中游产业链：**这一环节主要包括筛选测试、亲本创制、品种培育等，是分子育种的创新部分，通过不同的技术手段来培育出具有优良性状的新品种。

筛选测试主要指利用分子标记或基因组信息对动植物进行遗传评估和选择，如分子标记辅助选择、全基因组选择等，它们能够提高育种效率和准确度，为育种优化提供方法支持。

亲本创制主要指利用非定向诱变或定向的基因编辑、转基因等技术对动植物进行遗传改造，如敲除、敲入、替换等，它们能够增加育种品质和多样性，为育种创新提供手段支持。

品种培育主要指利用传统或现代的杂交或无性繁殖等方式对动植物进行品系固定或扩繁，如自交系、杂交系、无性系等，它们能够保证育种稳定性和一致性，为育种应用提供产品支持。

- **下游产业链：**这一环节主要包括种子繁育、加工包装及销售推广等，是分子育种的市場部分，通过不同的渠道和方式将新品种推向市场，满足不同用户的需求。

种子繁育主要指利用规范化的生产管理和质量控制对新品种进行大规模的扩繁或复制，如扩繁场、实验室等，它们能够保证新品种的数量和质量，为市场供应提供保障。

加工包装主要指利用专业化的设备和工艺对新品种进行清洗、干燥、分类、包装等处理，如加工厂、仓库等，它们能够提升新品种的附加值和保存性，为市场销售提供便利。

销售推广主要指利用多元化的渠道和策略对新品种进行宣传、展示、销售等活动，如经销商、电商、广告等，它们能够扩大新品种的知名度和市场份额，为市场需求提供满足。



3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 分子育种产业链概述与产业链图谱

亿欧智库：分子育种产业链图谱



数据来源

公开资料、亿欧智库、华谷研究院

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 产业链上游结构属性和价值分析

分子育种产业链上游是整个育种产业的基础支撑。主要为基因测序仪企业、基因芯片企业、实验室自动化设备企业、创新育种技术研发机构、种质资源库建设单位等。

具体来看，在设备方向，国内企业已能满足国内分子育种研发需求；转基因、基因编辑等育种体系研发和应用方面处于国际领跑或并跑阶段，原创性研究突破原始核心专利将成为未来科研机构重点；伴随着种质资源的精准鉴定开展及分子育种产业应用渗透率提升，实验室自动化建设将成为下阶段基础支撑环节建设重点；同时，种质资源库建设正在逐步建设和完善阶段，当前种质资源库需求偏向自动化、智能化、数字化、标准化特点。分子育种产业链上游科技能够提高育种效率和精度，增加新品种的创制和改良，为农业生产和食品安全提供强有力的支撑。

亿欧智库：分子育种上游概况及主要企业（机构）

基础支撑	发展概况	国内企业及机构	国外企业及机构
基因测序仪	华大智造国产基因测序仪打破国际垄断，在全基因组选择、基因编辑等分子育种技术应用中得到广泛应用，未来将朝着高通量、低成本、稳定性方向发展。	华大智造	Illumina
基因芯片	由跨国公司主导，定制需求响应周期慢、成本高昂、缺乏持续技术支持和服务，逐渐被液相芯片及高通量测序所替代。	拉索生物	Illumina、Thermo Fisher
育种技术研发	底层研究仍有一定差距，但具备自主知识产权的工具逐渐增多。中国科学院遗传与发育生物学研究所高彩霞团队开发了突破CRISPR限制的模块化结构的碱基编辑新系统——CyDENT，再次升级了细胞核及细胞器的精准编辑策略，对疾病治疗和农作物精准分子育种具有重要的潜在应用价值。	中国科学院遗传与发育生物学研究所等	Broad Institute、CVC、Toolgen、Collectis、默克
种质资源库	2021年启动新中国历史上最大的农业种质资源普查，国家农作物种质资源库等国家级种质资源库建设取得重要进展。	国家农作物种质库、国家畜禽种质资源库、国家海洋渔业种质资源库	美国种质资源信息网络GRIN
实验室自动化	支持数据分析全过程，从样本识别到取样到制备和实际测试，实现高效数据处理。	华大智造	贝克曼库尔特

数据来源

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

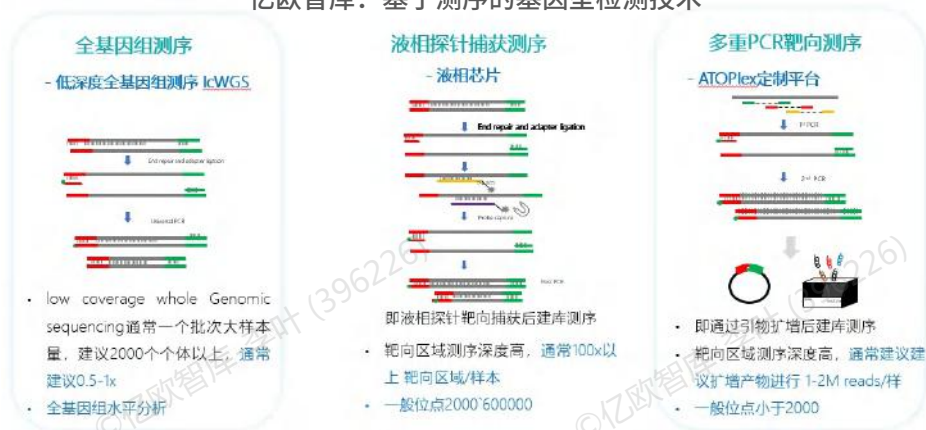
◆ 产业链上游结构属性和价值分析

基因型检测推动产业技术应用的基础和关键

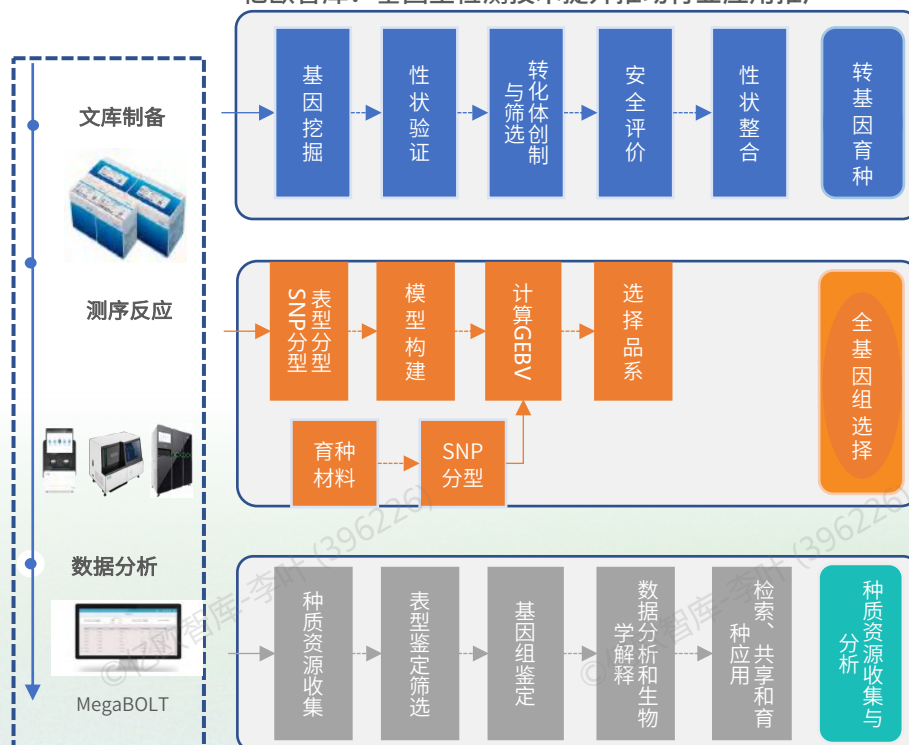
基因型检测可揭示不同物种或品种之间的遗传多样性、进化关系、驯化过程和选择信号，为育种资源的创新和利用提供依据。同时，基因型检测与转基因或基因编辑等技术相结合，实现对目标基因或功能区域的定向改造，创造新的生物特性。

在分子育种产业链中，基因型检测是推动产业技术应用的基础和关键。随着基因测序成本的下降，基于测序的基因型检测方法，根据不同应用场景有低深度全基因组测序、液相探针捕获测序、多重PCR靶向测序等方法可选择，这也使得基因型检测在行业中下游的种质资源收集与分析、全基因组选择、转基因及基因编辑等得以开展和推广。

亿欧智库：基于测序的基因型检测技术



亿欧智库：基因型检测技术提升推动行业应用推广



3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 产业链上游结构属性和价值分析

高通量测序技术是基因型的最核心工具

中国正处于分子育种技术应用推广的机遇期，以华大智造为代表的上游设备厂商，正逐渐打破国际技术垄断，推动了中下游分子育种技术的应用与普及。华大智造致力于成为生命科技核心工具缔造者，专注于生命科学与生物技术领域，其高通量测序设备在农业应用方向可覆盖基因组图谱构建、基因挖掘及分子标记开发，及产业育种实践等，搭配实验室自动化设备可赋能中游育种服务商，如博瑞迪、华智生物、康普森、格致博雅、影子基因、极智基因，促进产业下游育种进程加速。

亿欧智库：华大智造农业基因组学解决方案



华大智造核心测序技术是利用DNBSEQ™技术对DNA或RNA进行高效准确的大规模并行测序的技术，DNBSEQ™技术是其自主知识产权核心技术，具有高准确性、低重复序列率、低标签跳跃等重要特性，能够有效避免扩增错误的累积，提高测序质量。典型产品如DNBSEQ-G99、MGISEQ-200、MGISEQ-2000、DNBSEQ-T7等，能够满足农业基因组学研究中的全基因组测序、转录组测序、表观遗传，以及育种产业实践中基因型检测需求。

亿欧智库：华大智造核心知识产权技术-DNBSEQ™



3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

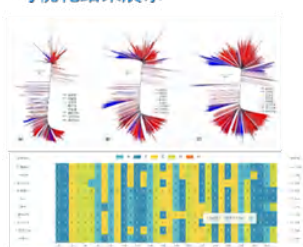
◆ 产业链上游结构属性和价值分析

高通量测序技术是基因型的最核心工具

针对传统依赖形态特征鉴定种质资源的局限性，极智基因利用低深度重测序技术和自主研发的ST breeding®液相芯片技术，开发了一套基于迭代的算法构建DNA指纹图谱的流程，并获得发明专利证书。该项技术成果，成功运用于与农科院作物科学研究所等多家合作单位的水稻DNA指纹图谱构建、水稻种质资源数据库搭建及大豆种质资源基因型鉴定等项目中。

亿欧智库：极智基因基于测序的种质资源鉴定技术开发

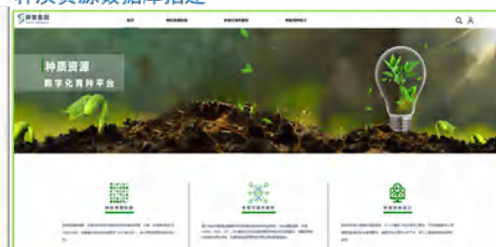
可视化结果展示



具备知识产权专利

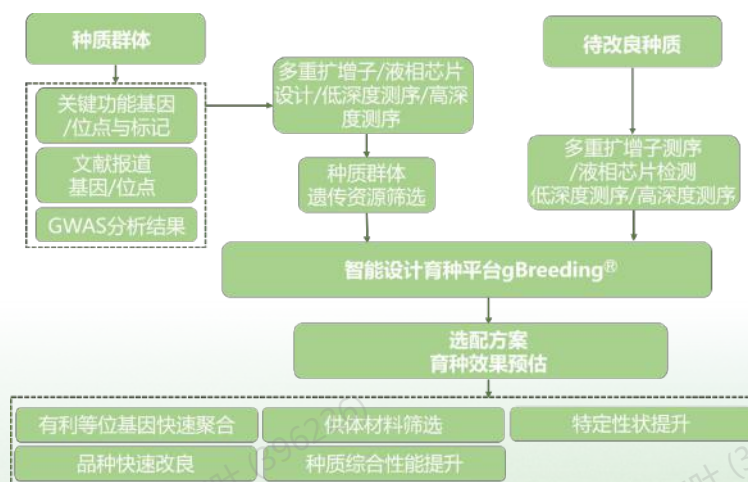


种质资源数据库搭建



格致博雅基于基因测序进行多重扩增子和液相芯片研发、低深度全基因组测序、高深度全基因组测序，搭建智能设计育种平台gBreeding®，以优势等位基因聚合为目的，快速、精准地进行品种改良，以提高种质资源的综合性能和农业生产效益。帮助育种家破译种质资源基因序列，挖掘种质个体/特征群体的性状位点，进行核心种质评价、全基因组选择育种、指纹图谱/个体身份识别等研究。

亿欧智库：格致博雅智能设计育种平台gBreeding®



3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 产业链上游结构属性和价值分析

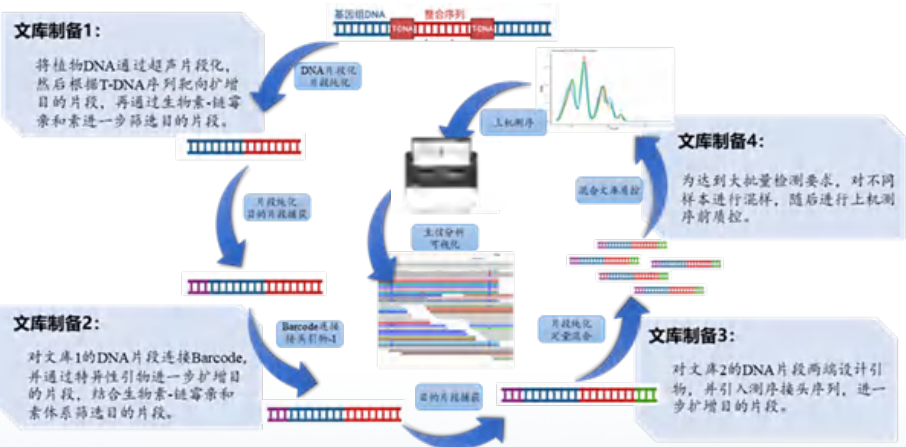
高通量测序技术是基因型的最核心工具

在实际分子育种过程中，不仅需要对目标基因有清晰定位和认知，还需要在种源材料经转基因、基因编辑改造后验证后续靶点。其中靶向测序技术的发展为该部分指标的精准高效检测提供了新的方向。基于对外源基因的识别和鉴定，唯可生物开发的基因测序的靶向线性PCR（LTA-PCR）技术突破了检测通量的局限性，同时实现对整合位点和拷贝数等关键信息的低成本、高精度定量检测，可完成转基因和基因编辑作物的分子安全评价。

亿欧智库：转基因作物和基因编辑作物分子安全评价主要内容

总体要求	转基因安评指南	基因编辑安评指南
分子特征	表达载体相关资料	靶基因相关资料
	外源插入序列在植物基因组中的整合情况*	基因编辑方法相关资料
	外源插入序列的表达情况	靶基因编辑情况*
		载体序列残留情况*
遗传稳定性		脱靶情况*
	目的基因整合的稳定性*	靶基因编辑的稳定性*
	目的基因表达的稳定性	目标性状表现的稳定性
	目标性状表现的稳定性	

亿欧智库：唯可生物基于测序开发的靶向线性PCR（LTA-PCR）技术



*靶向测序技术的发展为该部分指标的精准高效检测提供了新的方向

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

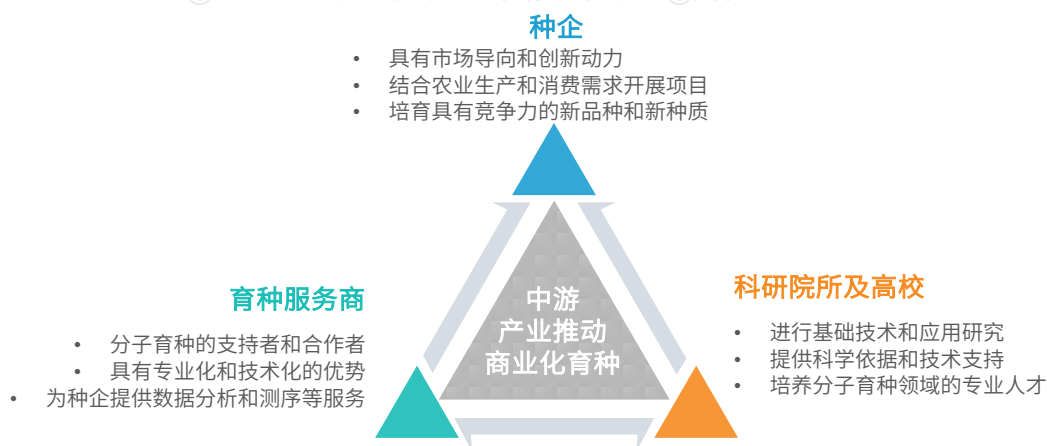
分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 产业链中游结构属性和价值分析

分子育种中游主要包括筛选测试、亲本创制、品种培育等，参与主体主要包括科研院所及高校、种企、育种服务商等。其中，科研院所及高校主要为中国农业科学院、省市级农科院、种子实验室、高校中农业类学院；种企主要为以大北农、温氏为代表的自建或合作建设分子育种平台的种企；育种服务商主要为华智生物、博瑞迪、康普森、影子基因、格致博雅、极智基因这一类为下游提供检测服务以及CRO服务的公司。

- **种企是分子育种产业链中游主体**：种企具有市场导向和创新动力，能够结合农业生产和消费的需求，开展针对性的分子育种项目，培育出具有竞争力的新种质和新品种。
- **育种服务商是分子育种产业链中游的支持者和合作者**：育种服务商具有专业化和技术化的优势，能够为种企提供分子测序、数据分析、全基因组选择等服务，提高分子育种的效率和精度。种企和育种服务商之间存在互补性和协同性，能够通过合作共赢的方式，实现资源共享、风险分担、效益提升。
- **科研院所及高校在分子育种产业链中游提供科研技术开发和人才培养任务**：科研院所及高校进行基础技术和应用研究，包括利用分子标记筛选、转基因、基因编辑研发更优技术或应用，为分子育种提供科学依据和技术支持。此外，科研院所及高校还负责培养分子育种领域的专业人才，为产业提供人才支持。

亿欧智库：分子育种中游产业结构



分子育种产业链中游的合作机制主要有以下几种：

- **科研院所与种企合作**：科研院所提供基础研究和关键技术支持，提供育种资源导向；种企提供应用场景和市场需求，与科研院所共同开展分子育种项目，将科研院所科研成果进行产业化转化，实现育种产品商业化。例如：中国农业科学院与大北农合作开发了抗旱耐盐的转基因玉米品系，中国农业大学与温氏集团开发了生猪选育选种的lcWGS基因型检测方法。

数据来源

华谷研究院、公开资料、亿欧智库、华谷研究院

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

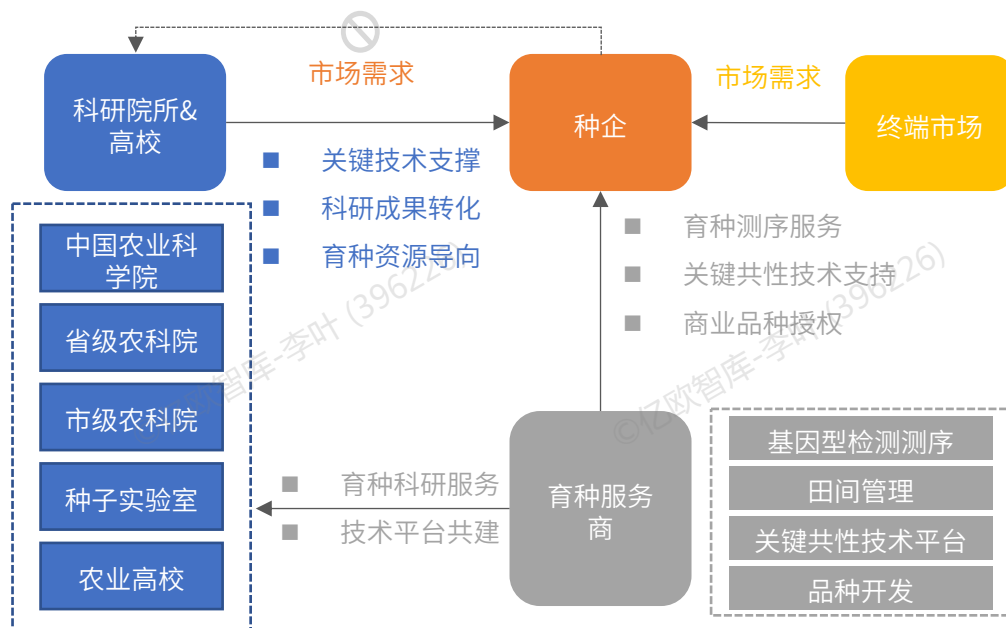
3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

◆ 产业链中游结构属性和价值分析

- **种企与育种服务商合作：**种企提供亲本材料和目标性状，育种服务商提供基因测序、数据分析、关键共性技术支持等服务，共同提高分子育种效率和精度，实现商业品种授权。例如：华智生物、康普森、博瑞迪等与多家玉米、水稻、小麦等作物种企合作，为其提供前期基因型检测以及育种CRO服务。
- **育种服务商与科研院所合作：**育种服务商利用自身的技术优势，为科研院所提供分子育种相关的试验设计、样本制备、测序分析等服务，促进技术平台共建，实现科研成果产出和应用。例如：博瑞迪、格致博雅、极智基因等与中国农业科学院及农业农村部等单位合作，提供种质资源挖掘与鉴定工作。

亿欧智库：分子育种中游概况及合作机制



分子育种中游产业链对于推动中国育种强国建设起到非常重要的作用，能够推动商业化育种体系的建立与发展，而商业化育种体系的关键在于科研院所与企业的紧密协作。种企作为育种主体的定位已经明晰，当前科研院所正在发挥基础性、公益性研究的作用；但科研院所育种人才、技术等资源向企业流动仍存在实际壁垒，导致产学研成果转化面临脱节的问题。

在市场育种需求旺盛，种企行业集中度低、个体企业育种研发支出不足的情况下，育种服务商有望通过为种企提供育种检测服务、关键共性技术支持、商业品种授权等方式提升种企育种效率、分散风险，推动中国种业分子育种技术应用率提升。

数据来源

华谷研究院、公开资料、亿欧智库、华谷研究院

3 分子育种产业链分析和价值探讨

3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱

3.2 产业链上游结构属性和价值分析

3.3 产业链中游结构属性和价值分析

3.4 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种产业链分析和价值探讨

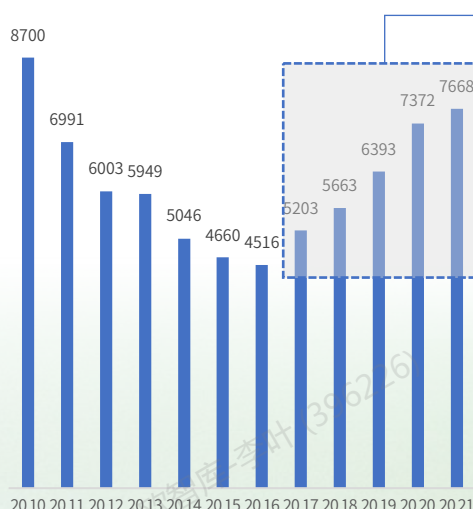
◆ 产业链下游结构属性和价值分析

分子育种下游产业链为：种子繁育加工、良种种植、商品种销售推广、市场监管等。其中农作物种业龙头种企，畜禽水产养殖龙头企业在引领分子育种技术转化层面发挥着重要作用。

- 农作物种业龙头企业是通过将研发转化为高质量的商品种，通过销售推广等方式推向市场，为农户提供优良的良种，提高农作物的生产效率和经济效益。目前，中国农作物种业龙头企业主要有隆平高科、荃银高科、大北农、垦丰种业、丰乐种业、五谷种业等，涵盖了水稻、玉米、小麦、棉花、油菜等主要作物。
- 畜禽水产养殖龙头企业通过利用改良得到高效、健康、优质的畜禽水产商品种，通过养殖加工等方式将其转化为高附加值的农产品，为消费者提供安全、营养、美味的食品，提高畜禽水产养殖的效率和品质。目前，中国畜禽水产养殖龙头企业主要有牧原股份、温氏股份、新希望、大北农、德康农牧、江苏立华、海大集团等，涵盖了猪、牛、羊、鸡、鱼等主要动物。

与国际种业公司相比，中国种业公司仍呈现“企业数量多、规模小、研发能力弱”等特点，这些特点在分子育种产业链下游也有所体现。近些年，随着产业政策与资本的推动，种企之间的兼并购与“育繁推一体化”建设提升了行业集中度，通过具备核心竞争力的龙头种企整合种业资源、优化资源配置，提高了中国种企的整体实力。在统一大市场 and 放管服的双重背景下，未来分子育种产业链下游将呈现“龙头企业引领、中小企业协同”的合作共生新格局。

亿欧智库：2010-2021年种企数量变化（家）^[1]



- 2016年开始，非主要农作物播种面积增长，对应种子需求增加，非主要农作物种子生产经营许可证获批增多；
- 放管服将“育繁推一体化”种子企业经营许可证下放至省级发放，增强了市场活力；
- “十四五”期间种企数量仍将增长，且以非主要农作物种子企业为主，经营类型多为制繁种企业和销售型企业为主。

数据来源

[1] 《2022年中国农作物种业发展报告》
《中国种业发展报告》、亿欧智库

目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

分子育种能够缩短作物育种周期，提升育种准确率，创造有重大育种利用价值的新材料。产业化方面，转基因作物在国内已处于商业化推广前夕，农业基因编辑相关政策已突破，产业化蓄势待发；基因组选育已被行业充分认可，应用越来越广泛。分子育种带来的综合效益显著，以华大智造合作伙伴华智生物、博瑞迪为例，他们早期就开始依托华大智造DNBSEQ-T7超高通量测序仪开发出动植物基因组选择育种、种质资源鉴定、功能基因挖掘鉴定、分子标记辅助选择等分子育种服务与产品，不断满足作物育种终端客户的育种需求，大幅降低了终端育种成本、提高了育种准确率。从作物品类看，分子育种技术主要应用于玉米、大豆、水稻、小麦等主粮作物的性状改善，并在蔬菜、花卉等领域有所应用。

亿欧智库：分子育种终端应用效益



20,000个组合常规育种和分子育种技术应用的对比

	常规育种	分子育种
花费时间	2-3个月	1周
占用土地	>120亩	15~20亩



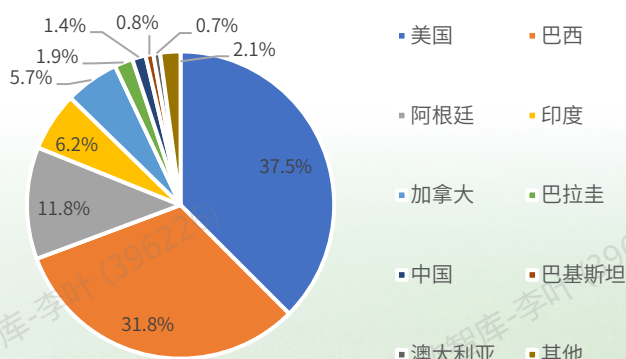
借助DNBSEQ-T7超高通量测序仪，帮助下游作物种企实现：

- ◆ 平均缩短合格种源培育周期超出**50%**
- ◆ 选择准确率提高**20%-30%**
- ◆ 成本降低超出**90%**

作物转基因应用及商业化推广持续深化

当前中国分子育种产业应用渗透率仍较低，2022年，全球转基因作物种植面积达到2.02亿公顷，其中中国转基因作物种植面积仅占1.4%。未来中国育种政策方面将逐渐向国际化靠拢，随着中国转基因品种审定标准的发布、安全证书的批准，中国转基因作物的商业化应用将会逐渐加快。

亿欧智库：2022年各国转基因作物种植比例^[1]



数据来源

[1] <http://ngx.179c.com/p2580.html>
ISAAA, Kynetec, 中国农业技术推广服务中心、博瑞迪、公开资料亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

多个转基因产品通过审定会议，生物育种环节流程已打通

转基因品种获得安全证书，意味着该品种在使用安全性及环境安全性经过了严格规范评估，在经过“品种审定”后，可以按照用途进行种植、生产和食用，真正进入商业化推广阶段。2023年10月17日，农业农村部种业管理司官网发布《关于第五届全国农作物品种审定委员会第四次审定会议初审通过品种的公示》，公布了37个转基因玉米品种和14个转基因大豆品种通过初审，这是中国第一次审定转基因品种，标志着生物育种的所有环节已通畅开启。

亿欧智库：2023年关于第五届全国农作物品种审定委员会第四次审定会议初审通过品种

单位	类别	产品	数量
北京大北农生物技术有限公司	大豆	脉育 526/503/511/579/565	5
中国农业科学院作物科学研究所（黑龙江、江省农业科学院大豆研究所、黑龙江省农业科学院绥化分院、呼伦贝尔市农牧科学研究所、吉林省农业科学院、	大豆	中联豆 1505/1307/2825/2109/2041/1309/1311/1510/1512	9
北京联创种业有限公司	玉米	裕丰 303D、中科玉 505D、嘉禧 100D、中科玉 505R、裕丰 303R、裕丰 303H	6
北京市农林科学院玉米研究所	玉米	京科 968TK/ 968D	2
北京丰度高科种业有限公司	玉米	郑单 958D、农华 803D	2
河北巡天农业科技有限公司	玉米	农大 372R	1
山西中农赛博种业股份有限公司	玉米	郑单 958K	1
山西农业大学玉米研究所	玉米	瑞普 909D	1
山西大丰种业有限公司	玉米	大丰 30F	1
内蒙古利禾农业科技发展有限公司	玉米	利禾 1D	1
内蒙古巴彦淖尔市科河种业有限公司	玉米	科河 699D	1
辽宁东亚种业有限公司	玉米	东单 1331D/1331K	2
辽宁宏硕种业科技有限公司	玉米	宏硕 899SK	1
吉林省鸿翔农业集团鸿翔种业有限公司	玉米	翔玉 998HZ、优迪 919HZ	2
吉林云天化种业科技有限公司	玉米	天育 108Z	1
吉林省宏兴种业有限公司	玉米	增玉 1572KK	1
山东登海种业股份有限公司	玉米	登海 605D/533D	2
河南富吉泰种业有限公司	玉米	郑单 958GK	1
河南金苑种业股份有限公司	玉米	金苑玉 177K	1
南省现代种业有限公司	玉米	京科 986GE	1
湖北康农种业股份有限公司	玉米	康农 20065KK	1
湖北惠民农业科技有限公司	玉米	惠民 207R	1
中国种子集团有限公司	玉米	远科 105WG/105D、和育 187D、先达 901ZL	4
四川同路农业科技有限责任公司	玉米	铁 391K	1
云南大天种业有限公司、北京大北农生物技术有限公司	玉米	罗单 566DT	1
甘肃五谷种业股份有限公司	玉米	五谷 3861KK	1

数据来源

农业农村部、公开资料、亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

作物基因编辑技术产业化进程加快

基因编辑技术在主要的粮食作物和战略作物方面优势很大，集中在作物的高产抗病、抗倒伏、抗盐碱和营养。目前，中国基因编辑育种基础研究积累领先世界，中国作物基因编辑知识产权的成果转化和商业化，离不开政策管理与推动。

- 2022年1月24日，农业农村部科技教育司发布了《农业用基因编辑植物安全评价指南（试行）》，主要针对没有引入外源基因的基因编辑作物，将依据可能产生的风险申请安全评价，指南简化了基因编辑作物商业化生产的审批流程，减少了在中国投入商业使用的时间和经济成本。
- 2023年4月，农业农村部发布了《2023年农业用基因编辑生物安全证书（生产应用）批准清单》，批准了山东舜丰生物的基因编辑高油酸大豆，是中国首个基因编辑生物安全证书，这意味着中国作物基因编辑育种的商业化道路正式开启。

基因编辑可将生物育种的研发周期由10年以上缩短到2-5年，成本极大降低。加之国内政策推动，其育种登记周期和成本也大幅缩短，目前基因编辑育种技术产业化进程加快，其中齐禾生科、舜丰生物、清原农冠、未米生物、三黍生物、弥生生物等企业走在前列。

亿欧智库：基因编辑育种企业（部分）



其中，齐禾生科首席科学家高彩霞与其团队等在 Nature 发表利用基因组编辑技术快速获得具有广谱抗白粉病且高产的小麦优异新品系研究成果^[1]。

数据来源

[1] Shengnan L., Dexing L., Yunwei Z., et al. Genome-edited powdery mildew resistance in wheat without growth penalties[J]. Nature, 2022, 602 (7897):
农业农村部、公开资料、亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

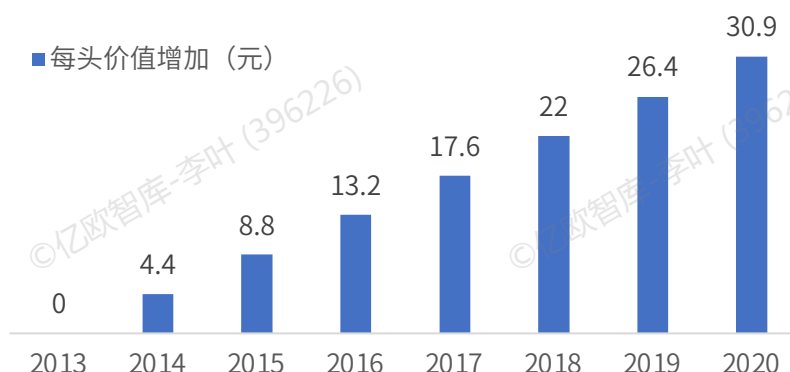
◆ 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

畜禽水产全基因组选择产业化应用助力企业繁育“完美”品种

全基因组选择可实现早期选种，具有准确性高、性状选择效果好的特点，逐渐成为畜禽经济性状遗传改良的重要方法。随着高通量技术的发展与测序成本的大幅下降，基于测序的全基因组选择技术逐渐在奶牛、猪、鸡等畜禽水产育种中实现应用，让企业培育“完美”品种成为可能，助力企业提升培育品种的经济效益。

2012年初PIC使用填充技术获取高密度基因组信息，估计基因组育种值，随后又开展了个体测序的应用，全基因组的技术应用已经给商品猪额外带来了超过30元/头的价值。温氏股份联合中国农业大学和华大智造，依托华大智造MGISEQ-2000高通量基因测序平台的基础上，建立了基于低深度全基因组测序的全基因组选择技术的基因型检测平台，实现国内外同类技术的超越，打破国外芯片技术的垄断，在种猪培育方面取得了优异的应用效果。

亿欧智库：PIC应用全基因组选择技术实现的经济效益



亿欧智库：温氏股份全基因组选择应用效果



数据来源

PIC、温氏股份、公开资料、亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

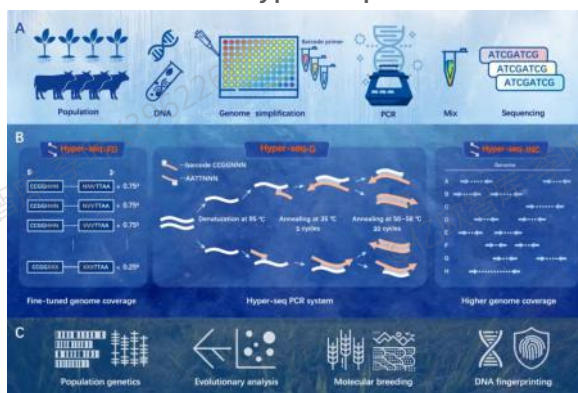
◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

中国与领先国家的分子育种技术能力差距不大

在农业生物育种的4个经典阶段中，中国还在从2.0阶段向3.0阶段艰难迈步，部分发达国家已经走入4.0智慧育种时代。虽然进程缓慢，但是中国分子育种底层科研技术水平与已步入4.0阶段的发达国家差距不大：分子标记辅助选择、全基因组选择、基因编辑技术整体处于国际领先水平。其中，中国基因编辑技术发文数量排名，及在三种基因编辑技术中的发明专利量均位居世界第二；从产业链上游技术独立性和自主性来看，龙头企业的底层技术完备，上游设备的国产化也不存在“卡脖子”之痛。以华大智造为例，其实验室自动化设备和高通量测序设备，已能够满足分子育种领域应用中基因型高通量、自动化检测的需求。

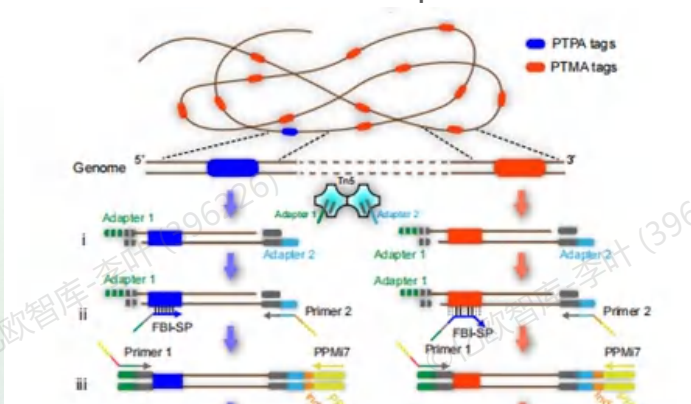
- ▶ 海南大学夏志强团队开发的Hyper-seq技术，通过特殊的PCR方式，不需要额外酶切和连接接头等，即可实现大量样品同时建库，产出海量基因型大数据，以低成本满足不同物种大规模分型测序的需求，将使更多非模式作物育种者受益。

亿欧智库：Hyper-seq技术简介



- ▶ 中国农科院农业基因组研究所常玉晓团队等开发的FBI-seq技术，是一种全新的低成本全基因组基因型检测方法，不仅实现了作物育种中前景基因和遗传背景的同时检测，也可作为一种新的全基因组基因型检测方法。

亿欧智库：FBI-seq技术简介



4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

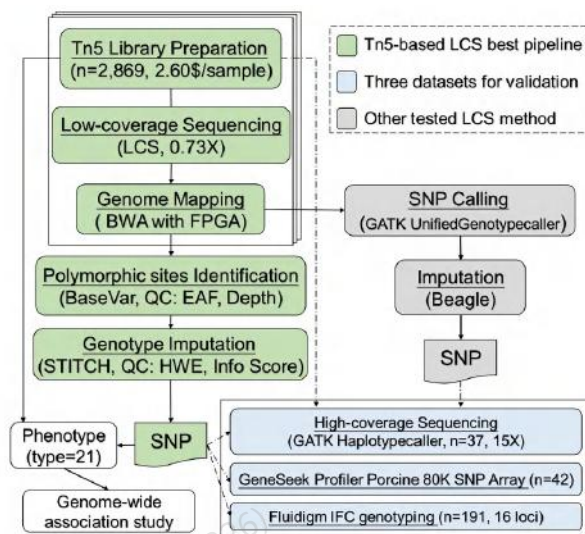
4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

- 中国农业大学胡晓湘教授团队与华南农业大学吴珍芳教授团队合作，开发了畜禽全套低深度测序分析流程，并进行猪重要经济性状遗传结构的解析。该方法在没有优质参考单倍型数据库的畜禽物种中实现了高效高质基因型填充，解决了育种中重要的“卡脖子”问题。

亿欧智库：畜禽全套低深度测序分析流程



科研院所育种：当前进入公益性研究阶段，在作物育种领域具有明显优势

科研院所是中国农业育种领域的主力，拥有最丰富的育种资源和育种人才，从分子育种技术应用方面，科研院所技术应用及先进设备应用与国际水平接近。从科研院所育种定位的发展历程看，科研院所经历了“无偿赠与阶段-鼓励选育新品种阶段-有偿转让阶段-公益性研究阶段”。

亿欧智库：科研院所育种定位发展历程



4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

当前国家不断推动科研院所发挥基础性研究优势，加强与企业联动性，推动科研院所科技成果转化。从物种研究及分子育种技术应用来看，科研院所主要应用的技术包括种质资源分析、全基因组选择、分子标记辅助等，在植物育种方面发挥主体地位。

亿欧智库：科研院所分子育种技术应用

主体	作物育种应用技术	畜禽水产育种应用技术
科研院所	● 种质资源分析 ● 全基因组选择 ● 分子标记辅助回交 ● 分子标记辅助早筛	由于世代间隔长，需要饲养环境，科研院所条件受限，动物育种极少，多采取与企业合作模式推进育种工作。
种企	● 分子标记辅助回交 ● 分子标记辅助早筛 ● 种质资源分析	● 全基因组选择技术 ● 分子标记辅助选择 ● 基因编辑 ● 智能化的表型组技术

不过，以科研院为主导的分子育种方向带来的弊端相对明显，育种研发与市场需求脱节，导致研发成果往往无法在实际市场中落地推广，产业转化不足。为解决以上困境，十四五规划后，国家相关经费更多鼓励企业牵头、科研单位辅助，努力建设投入与研发体系，通过借鉴国外经验，形成以企业推动研发的市场化体系。



4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

产业化应用与海外发达国家有较大差距，主粮性状改善是当前分子育种技术的主要应用场景

目前，全基因组选择技术已经给动植物育种带来了革命性的变化，显著提高了动植物育种效率，成为国际动植物育种领域的研究热点和跨国公司竞争的焦点。在作物育种领域，国际研究机构和跨国公司率先开展了玉米、小麦等作物的全基因组选择研究，形成了针对于特定育种资源的全基因组选择数据、预测模型和育种方案。例如：结合高效表型技术和作物生长模型对玉米杂交种进行工业级的评估，结果表明，利用全基因组选择技术选育出的玉米品种能够显著提升玉米品种在缺水条件下的稳产特性。在中国技术应用方面，科研院所逐渐使用全基因组选择等技术推动作物育种，作物种企侧重应用分子标记辅助选择技术进行性状选择，当前已有转基因和基因编辑作物批准上市，但整体而言国内作物分子育种产业化仍处于起步阶段，与种业发达国家相比仍有较大差距。

亿欧智库：国内外作物分子育种产业化应用概况

	分子育种技术应用	分子标记辅助选择	转基因	基因编辑
中国	应用率*	★★	★★	★★
	应用概况	国内种质鉴定比例仍较低（10%），全基因组选择育种研究成为研究热点，应用案例如“浦粉一号”等	转基因品种产业化应用试点有序进行，转基因玉米与大豆有望率先得到推广	取得了系列新品种，中国首个基因编辑作物被批准上市
海外	应用率*	★★★★	★★★★★	★★★★
	应用概况	拜耳（孟山都）、科迪华（陶氏杜邦）等国际种业巨头已在玉米等作物上实现了规模化应用	2019年，五大转基因作物种植国的转基因作物应用率接近饱和：美国95%、巴西94%、阿根廷100%、加拿大90%、印度94%	美国超过150种基因编辑植物品种商业化种植；2018年英国批准转基因作物试验性种植；2020年日本允许基因编辑作物进入市场

数据来源

公开资料，专家访谈，亿欧智库

注：应用率*：五角星数量越多，表示应用率越高

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

全球谨慎推进分子育种用于畜禽水产育种的产业化进程

从应用物种来看，分子育种在畜禽水产领域主要应用于奶牛、猪等高产值动物的性状改良、抗病基因改良等。从技术应用来看，全基因组选择、转基因、基因编辑在畜禽水产育种领域均已得到广泛应用，中国在转基因动物、基因编辑领域的技术应用处于全球前沿水平。依托中国农业科学院深圳农业基因组研究所成立的中农种源，利用猪前沿育种技术研发和育种材料创制，已开发了抗蓝耳病、抗传染性胃肠炎、高瘦肉率、抗三种重大疫病等多个基因编辑育种新材料，并完成相关专利布局；其研发的三个模型猪品系已获得中国实验动物新资源证书，是首次通过鉴定的基因编辑猪疾病模型新品系。

从产业化应用来看，全基因组选择逐渐在畜禽水产育种领域取得了重要进展，但利用分子标记实现大规模培养新品种的目标阶段尚未实现，还需要大量研究和实践经验。转基因、基因编辑用于畜禽水产育种的产业化推广全球仍处于谨慎推进阶段，美国目前在产业化推进方面处于全球前列，国内尚未有转基因、基因编辑动物获批育种商业化。

亿欧智库：国内外畜禽水产分子育种产业化应用概况

	分子育种技术应用	分子标记辅助选择	转基因	基因编辑
中国	应用率*	★★	★	★
	应用概况	全基因组选择成为研究热点，应用于种猪等畜禽育种值预测，提高遗传进展。	产业化应用仍主要集中在基础研究领域，转基因动物模型主要提供给科研机构使用，国内尚未有转基因动物获批商业化。	基因编辑大动物模型研究走在世界前列，安全评价纳入转基因生物安全评价体系，尚未有基因编辑动物获批商业化。
海外	应用率*	★★★★	★★★	★★
	应用概况	美国、英国、澳大利亚、荷兰等国家相继开展全基因组选择的研究及其具体应用；德国、法国等欧美国家将MAS应用到奶牛的早期选择中，取得了一定成果。	2015年，FDA批准可食用转基因三文鱼上市销售，2019年获得美国养殖通行证，2021年5月，第一批转基因三文鱼销往北美。	2020年，DFA批准基因编辑猪用于食品和医疗产品，既可用于生产药物、提供器官和组织进行移植，也可生产对肉类过敏者可安全食用的肉类。

数据来源

公开资料，专家访谈，亿欧智库

注：应用率*：五角星数量越多，表示应用率越高

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

国际分子育种已形成市场驱动体系，中国缺乏相应环境

在过去近百年间，欧美种业公司经历了开放竞争，巨头频繁进行并购与整合，推动了分子育种的产业化进程。

第一，持续的研发资金投入，支持新品种研发。2022年，美国科迪华农业科技总销售额174.55亿美元，研发支出为12.16亿美元^[1]；拜耳作物科学部门（含孟山都业务）总销售额251.69亿欧元，作物科学部门研发支出28.76亿欧元，研发人员7700人，一年内发布500个新品种和杂交品种^[2]。

第二，注重构建新营收模式。多数国外农业巨头都将转基因种子与专用农药捆绑，形成“除草剂+耐除草剂种子”的“免耕农业”组合模式，“耐除草剂”成为转基因时代种子必需的性状，也令科迪华（包括其前身杜邦先锋/陶氏益农）、孟山都的转基因种子与农药业务实现了相互成就，孟山都还探索了授权模式，在转基因与传统种子的差价中收取抽成费用，在南美的阿根廷、巴西等市场，“基因使用费”为孟山都贡献了高额利润。

第三，跨国资本进行大型并购，强大自身。拜耳将孟山都纳入囊中（部分业务剥离给巴斯夫），陶氏、杜邦合并后分拆出科迪华。而在最近这次国际农企大变动中，此前一直沉默的中国资本终于进入世界种业赛道：中国化工集团收购先正达。

欧美种业公司开放竞争离不开各国育种体系的完善与鼓励。对比欧美等发达国家，其前期以政府联合科研机构为主，后期无一例外转为企业为主。以奶牛基因组项目为例，奶业发达国家逐渐形成了集团化大型育种公司作为核心、以市场为导向、以专业育种公司和育种协会为主导的奶牛联合育种模式，通过整合资金、技术、市场等资源进行种业科技创新，实现研发、培育、推广一体化，加快了群体遗传改良进程，提高了种业核心竞争力。科研机构、育种协会、数据平台和育种企业直接对接，还进行跨国合作发展形成区域优势。

亿欧智库：以奶牛基因组项目为例-各国育种体系比较^[3]

	奶牛基因组选择项目发起方式
美国	相关机构与育种企业在美国农业部统一协调
加拿大	加拿大奎尔夫大学家畜遗传改良中心CGIL，加拿大奶业网CDN与美国相关机构合作平台发展
荷兰	以CRV公司为代表的奶牛育种企业牵头
德国	德国荷斯坦牛协会DHV和数据中心VIT为主联合运行
法国	法国农业科学院INRA执行
北欧三国（丹麦、瑞典、芬兰）	形成联合育种体系（Viking Genetics）

数据来源

[1]Corteva Agriscience. (2022). Annual Report 2022. <https://investors.corteva.com/static-files/7997d8af-344a-4a7f-ac61-151894326824>
[2]Bayer. (2022). Annual Report 2022. <https://www.bayer.com/sites/default/files/2023-02/Bayer-Annual-Report-2022.pdf>
[3]刘林, 张胜利, 郑维韬, 曹福存, & 杨通广. (2010). 国际奶牛基因组选择的发展概况. 中国奶牛, 12, 29-31. 公开资料, 专家访谈, 亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

当前中国在分子育种基础技术水平与国际发达国家基本保持一致，而产业化应用方面则与国际领先水平有较大差距，主要因素有：以科研院所为核心的育种主体产业化少；（作物/畜禽水产）种企研发能力弱、技术应用少；政策监管严格，技术产业化应用进程慢等。

亿欧智库：中国分子育种产业化应用存在的问题

科研院所为核心的育种体系产业化少

长期以来，中国种子研发实力集中在科研院所和高校，以科研院所为核心的科研体系育种研究以课题研究为主，科研院所在种子推广面积和经济效益上没有要求，脱离市场需求，往往不具备实用性。

种业企业研发能力弱、技术应用少

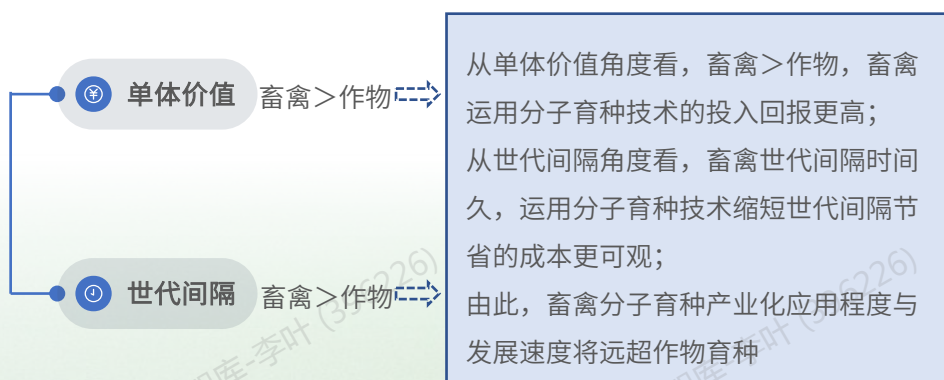
中国科研经费主要向科研院所倾斜，而作为市场主体的种子企业研发基础薄弱、研发实力有限，对于分子育种等先进的技术应用较少，而极度分散的种业市场格局使得大量种业企业无法支撑企业建立科研团队与商业化育种体系。

政策监管严格，技术产业化应用慢

当前中国在种业领域的监管政策为积极推动技术创新，谨慎推进产业化应用。这也促使国内育种领域呈现技术先进、产业化应用推进慢的发展现状，尽管国内逐渐推动转基因技术的产业化应用，但在基因编辑等领域的产业化应用进展仍较为缓慢。

从分子育种技术在畜禽水产作物中应用来看，主要考虑单体价值、世代间隔两大因素。从这两个方面来看，畜禽分子育种的产业化应用程度与发展速度远超作物育种。

亿欧智库：分子育种产业技术应用影响因素



4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

1、政策监管在分子育种产业化应用过程中发挥关键作用，当前中国生物育种监管政策与模式仍较为严格

在生物育种产业化进程中，政策监管发挥了关键作用。中国是世界上最大的大豆生产国和消费国，大豆种植面积与美国相比相差不大，而中国大豆亩产仅为美国60%左右^[1]，由于美国在转基因技术应用方面采取了积极的监管政策，推动转基因技术产业化应用，预计2020/21年度全球市场出口份额美国大豆占比约为33%^[2]。

当前中国农业生物育种需要更多可操作的生物育种生产管理办法为生物育种产业化应用保驾护航。转基因安全证书的发放及《农业基因编辑植物安全评价指南（试行）》的发布加速了中国生物育种的产业化进程，而未来中国生物育种产业化发展需要更多匹配产业发展阶段的政策支持。在畜禽类育种领域，2023年全国两会上，全国政协委员、中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员曹晓风院士指出，中国在2022年发布了基因编辑植物的安全评价指南，目前还没有基因编辑动物的安全评价指南或相关监管政策。中国已有基因编辑动物多项研发储备，相关政府部门做了重点调研，产业化应用蓄势待发，产业界迫切需要国家出台清晰合理的监管政策。

亿欧智库：各国转基因监管政策^[3]

国家	监管
美国	全球最大的转基因农产品生产、消费、出口和技术输出国，采用现行法规积极监管
欧盟	谨慎保守的管理政策，严格管控转基因作物种植，但允许进口大豆和玉米等转基因农产品以满足畜牧业发展
日本	审慎监管，允许进口，但不允许种植转基因作物
印度、加拿大、阿根廷、巴西等	采用积极的管理政策，大面积推动转基因作物种植
中国	积极创新，严格监管，谨慎推进产业应用

亿欧智库：全球基因编辑监管主要模式^[4]

管理模式	主要内容及特点	代表国家
宽松型	基因编辑作物不视同转基因作物，免于严格的转基因监管。批准的转基因产品多、审批流程简单；信息公开、监管透明、多方参与。	美国、阿根廷
谨慎型	基因编辑作物与转基因作物实质等同，全程严格监管。基于技术和应用过程的监管；统一立法，各自监管。	欧盟大部分国家
折中型	基因编辑作物分类管理，不同发展阶段政策变化大。	澳大利亚
《农业用基因编辑植物安全评价指南（试行）》，主要针对没有引入外源基因的基因编辑植物，依据可能产生的风险申请安全评价，打破了中国基因编辑技术“研究领先、管理滞后、应用空白”的局面，整体看监管偏严格		

数据来源

[1]国家统计局，美国农业部
[2]美国农业部《2022农业展望报告》
[3]林祥明,王东.转基因产业在各国的发展和监管[J].团结,2018(04):61-65.
[4]冷燕,孙康泰,刘倩倩,蒲阿庆,李翔,万向元,魏珣.全球基因编辑作物监管趋势研究[J].中国生物工程杂志,2021,41(12):24-29.DOI:10.13523/j.cb.2111016.
亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

2、种质资源库丰富程度处于国际领先水平，但精准鉴定与国际差距较大

中国种质资源库技术及丰富程度领先全球

中国农作物种质资源起源于20世纪50年代，1986年中国国家种质资源库建立，依托于中国农业科学院，隶属于作物品种资源研究所，由此标志着中国正式开始组织和管理种质资源。为达到农作物种质资源收集保护的目标，中国成立了农业农村部作物种质资源保护与利用中心，保存资源总量突破52万份，位居世界第二，种质资源库建设主体一般分为：国家主导、地方主导以及企业或行业机构主导，国家和地方主要以公益性为主，收集广泛种质资源和地方特色种质资源，企业或行业机构主要以收集资源后的产业化应用为主，对于公益性资源收集的驱动力不强。

2020年12月份，中央经济工作会议强调要“加强种质资源保护和利用，加强种质库建设”。2021年中央一号文件对农作物、畜禽、海洋渔业三大库的建设进行了部署，明确把加强种质资源保护利用列为重点工作。其中国家三大种质资源库已更新运营或更新建设中：国家农作物种质资源库已于2021年9月份完成建设并投入试运行；国家畜禽种质资源库2021年7月份已批准立项，2022年开工；国家海洋渔业生物种质资源库2021年10月投入运营。

亿欧智库：国家种质资源库介绍

 农科院作物研究所 - 国家农作物资源库 2021年9月完成建设投入运营 - 总容量达到150万份，保存能力目前位居世界第一 - 基本实现了种子的低温、超低温保存，以及试管苗和DNA保存 - 实现智能化、信息化保存，种子贮藏寿命可以达到50年	 黄海水产研究所 - 国家海洋渔业生物种质资源库 2021年10月投入运营 - 迄今为止国际上投资规模最大、种类最丰富、设施最先进的海洋渔业种质资源库 - 保存能力达到35万份，可以基本保存世界上所有的海洋渔业资源	 农科院畜牧兽医研究所 - 国家畜禽种质资源库 正式批准立项，于2022年开工 - 保存容量可突破2500个品种，超过3300万份，届时将位居世界首位 - 超低温保存精液、胚胎、细胞等遗传材料
---	---	---

2022年9月，农业农村部公告第一批72个国家农作物种质资源库（圃）和19个国家农业微生物种质资源库名单，旨在利用“国家队”打造种质资源保护，加快健全中国农业种质资源保护体系。

未来，产业发展将对种质资源库样本存储规模及质量提出更高要求，传统分散型存储很难满足数据在安全、效率、数量等方面快速增长的需求。自动化样本库具有“规模自动化存储”的特点，其更统一、规范和高效，将成为生物样本库的下一个发展方向。

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

2、种质资源库丰富程度处于国际领先水平，但精准鉴定与国际差距较大

以中国科学院西北高原生物研究所为例，其是以从事青藏高原生物科学研究（包括基础理论、应用基础和应用开发研究）为主的公益性综合研究所。该所参考未来种质资源存储需求，选择了-80℃的超低温自动化生物样本库为高原生物种质资源保藏工作提供了自动化、智能化、标准化的长期安全存储。

亿欧智库：中国科学院西北高原生物研究所



种质资源精准鉴定仍然面临挑战

中国在精准鉴定作物性状方面与国际水平还有不小差距，存在重收集轻评价现象，缺乏从资源到育种材料转变的研究积累，精准鉴定资源样本量尚未超过1.5万份，不足10%。早在2021年，中国农科院副院长万建民表示，中国已做了一些基因挖掘方面的研究，如水稻基因组研究等，但在面向国家重大需求为导向的研究方面，在“挖掘真正有用的基因方面”，还有待进一步努力，目前创制的有突破性的种子还比较少^[1]。

中国科学院西北高原生物研究所副研究员贾功雪认为：虽然中国种质资源库发展时间较长，保存技术与国际水平不相上下，但是保存后的资源复原更新技术相对比较滞后，也尚未形成从保护到开发利用的一套完整生态体系。导致以上现状的原因主要有：1、当下种质资源库仍以政府主导居多，早期种质资源库的公益属性较强，较少考虑产业投入产出比，市场化转化能力不足；2、当前种质资源库更多关注于如何把相关资源保存好，但是保存后续利用渠道相对较窄，更多应用于科研实验室中，产业化应用处于空白阶段。

除此之外，种质资源库建立还面临资源投入不足并缺乏持续性和基因型检测成本限制。未来随着测序成本的下降及国家、社会资本的不断投入，种质资源鉴定及种子资源库建设将为分子育种技术产业化应用奠定重要发展基础。

数据来源

[1] 中国政府网：如何实现中国种业向4.0时代跨越？——中国农科院副院长万建民谈打赢种业翻身仗 [EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-01/29/content_5583612.htm
公开资料、亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

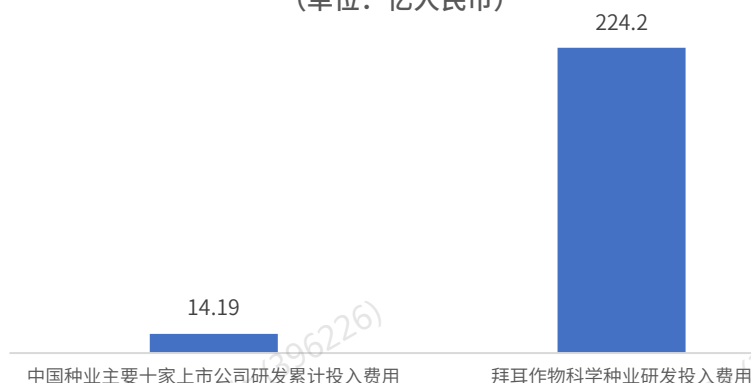
中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

3、国内外分子育种领域研发投入差距较大

对比发达国家在市场化运作下，育种研发经费源源不断流向企业，而非大学或科研院所。企业以市场需求为出发点，通过产业链紧密合作可以有效将研究成果产业化。2022年中国育种主要十家上市公司年报数据显示，10家公司累计研发费用为14.19亿人民币，而拜耳为28.76亿欧元（合人民币224.20亿人民币），中国种企在研发投入方面，与国际种业巨头相距甚远，仍然处于初级阶段，需要依靠政策及资本予以助力发展。

亿欧智库：2022年中国种业与全球种业研发费用对比
(单位：亿人民币)



4、交叉复合型育种人才缺失

中国农业大学教授胡晓湘认为，上游技术支撑有助于中国生物育种从2.0走向3.0，关键在于中国分子育种要解决“技术端与产业端如何更好地相结合”的问题；作为汇聚中国最优秀科研人才的科研单位，研发导向以国家主导的科研经费为主，成果未能流向企业，无法投放市场有所产出。

而作物育种4.0阶段的核心是大数据驱动的基因组智能设计育种，其跨学科、多技术交叉的特点决定了育种4.0阶段的育种商业运作模式需要多学科领域的技术支撑与产学研一体的研发链条。

中国高校大多数以一级学科为基础设置学院，学院数量众多，内部学科包容量较少，专业划分过细，忽略了跨学科与交叉学科的发展。反观世界各主要国家和国际组织，均把促进学科交叉研究放在一个重要的位置，如美国科学基金会的会聚项目提出十大理念，其中与分子育种相关的有预测生物体的显性性状和利用数据革命，会聚将以一种协调的、互惠的方式将科学学科融合在一起；管理英国科研经费的机构UKRI，重点资助多学科计划项目，包括数字经济和全球粮食安全；欧盟“地平线2020”社会领域计划包含粮食安全和可持续农业主题，都旨在培养跨学科人才与发展交叉学科。

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5、科研院所产业化不足是当前主要问题，未来将主要加强基础研究与科企协作推动科技成果转化

科研院所未来一段时间内仍将是生物育种资源最丰富、育种人才最集中的机构，但其育种往往以申请项目和课题形式进行，对基础性、长期性、战略性研究重视不足，育种研发与市场脱节，产业化不足。

要推动中国分子育种的技术发展与产业化应用，需要发挥科研院所人才与资源优势，推动科研院所以基础研究为主、应用研究为辅，不断加强与企业协作，在了解市场需求的基础上推动科技成果转化。中国农业大学胡晓湘教授基于华大智造MGISEQ-2000测序平台，开发了畜禽全套低深度测序分析流程，并进行猪重要经济性状遗传结构的解析，用于种猪等品种的优秀个体留种^[1]。在实践中，猪、鸡等品种可以通过采样—测序—育种值估计—性能测定—优秀个体留种的全基因组选择流程选育优秀的个体，提升育种企业、养殖企业的经济效益。

亿欧智库：国内外育种体系对比

	国内	欧美国家
育种体系	科研院所为育种核心主体，未来逐渐向企业为主体转变	前期政府联合科研机构为主，后期企业为主，市场化运作
育种行业贡献	课题研究为主	前20大跨国种企拥有全球90%的育种技术
育种研发经费流向	科研院所、大学	种业企业
产业链合作紧密度	科企协作差	通过市场化运作实现产业链紧密合作
研究成果产业化	超过90%科研成果无法实现产业化	以市场需求为出发点，研究成果产业化效果好

亿欧智库：基于MGISEQ-2000测序平台进行全基因组选择实践



数据来源

[1]Yang R, Guo X, Zhu D, et al. Accelerated deciphering of the genetic architecture of agricultural economic traits in pigs using a low-coverage whole-genome sequencing strategy[J]. GigaScience, 2021, 10(7): giab048.
公开资料、亿欧智库

4. 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况

4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析

4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

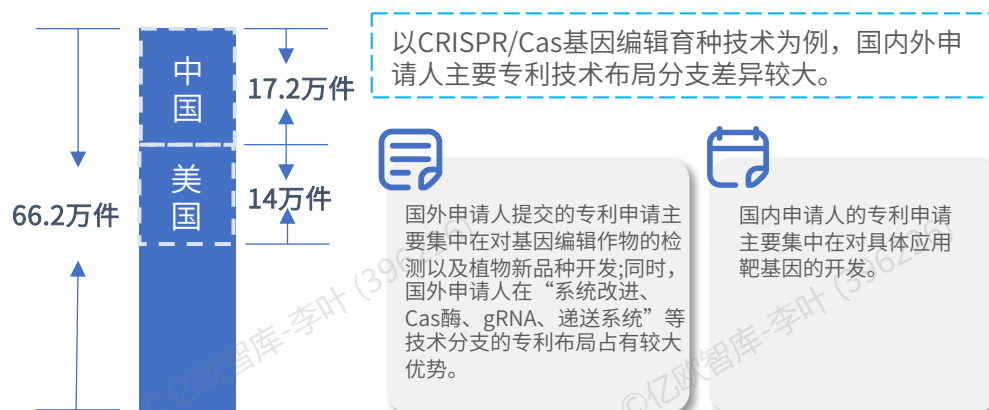
中国分子育种产业化应用水平与成因分析

◆ 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

6、分子育种核心专利分布情况不容乐观，且知识产权保护尚未充分发挥作用

从底层及自主角度来看，中国已经具备“后来居上”的技术条件。在专利布局方面，2021年国家知识产权局知识产权发展研究中心发布的《生物育种产业专利导航研究成果》的数据显示，目前中国生物育种专利申请量排名全球第一，其中分子标记育种专利申请量排名已超过美国，成为申请量最多的国家。国家知识产权局知识产权发展研究中心研究员王雷介绍，虽然中国分子标记育种专利申请量最多，但是关键核心技术仍有待突破。除以上问题外，在专利分布上，中国生物育种产业还存在专利布局缺乏基础核心专利的情况。

亿欧智库：国内外生物育种专利数量及分布对比



知识产权保护相关政策尚未落实到位

目前中国植物育种产业中植物新品种权与专利权未能有效衔接，存在知识产权保护的真空^[1]，植物新品种权和专利权保护的“分离模式”不足以维护育种者权益、促进种业科技进步^[2]。受国际公约和国际通行做法的影响，当前中国植物品种及其育种方法保护的主要法律包括《中华人民共和国种子法》、《中华人民共和国植物新品种保护条例》、《中华人民共和国专利法》，对植物品种、非生物学育种方法分别以植物品种权和专利权进行保护^[1]。植物新品种权保护植物育种的育成成果，并通过实质性派生品种制度向下游延伸至实质性派生品种；育种专利权则仅能保护生产植物的非生物学方法和植物的非繁殖材料；二者之间既不相互重叠、也不相互衔接。在整个育种过程中，留下许多无法进行知识产权保护的真空，例如新获得的植株或繁殖材料^[2]。因此，中国的植物新品种权和育种专利权可视为互不接触的“分离模式”。

数据来源

[1]钟辉,武雪梅.中、美、欧植物育种知识产权保护模式比较研究[J].中国种业,2023(08):20-23.DOI:10.19462/j.cnki.1671-895x.2023.08.038.

[2]钟辉,郝佳.育种产业中植物新品种权和专利权的衔接.中国种业,2023(5):18-21
公开资料、亿欧智库

目录

CONTENTS

1 中国育种行业迎来再次发展

- 1.1 基于全球视角下中国农业及种业发展现状
- 1.2 政策驱动下的育种行业：育种是农业发展的基础支撑
- 1.3 投资机构在种业方向布局
- 1.4 中国种业在行业变革中的发展态势与特征分析

2 分子育种技术是种业革新的动力与源泉

- 2.1 分子育种技术的发展历程与现状综述
- 2.2 分子标记辅助育种：利用分子标记选择目标性状
- 2.3 转基因技术：引入外源基因产生可预期的、定向的遗传改变
- 2.4 基因编辑技术：精确修改目标基因位点
- 2.5 合成生物学：人工设计调控元件和调控线路，来改变生物性状
- 2.6 BT与IT交叉融合的智慧育种：精准化、高效化、智能化种业技术革命

3 分子育种产业链分析和价值探讨

- 3.1 分子育种产业链概述与产业链图谱
- 3.2 产业链上游结构属性和价值分析
- 3.3 产业链中游结构属性和价值分析
- 3.4 产业链下游结构属性和价值分析

4 中国分子育种产业化应用水平与成因分析

- 4.1 分子育种技术在畜禽水产作物中产业应用情况
- 4.2 中国分子育种产业化进程的国际差距分析
- 4.3 分子育种产业化进程中存在的问题与制约因素分析

5 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

- 5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展
- 5.2 强化种质资源库建设和产业应用
- 5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通
- 5.3 企业引领分子育种行业发展
- 5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备
- 5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”
- 5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

分子育种已成为国际主流育种手段，各国政策不同也驱动着产业发展深度和方向不同。在转基因和基因编辑领域，政策导向直接决定产业发展。

- 2023年中央一号文首次提出了加快生物育种商业化步伐，重视生物育种带来的产业变革，由此引发市场强烈关注。
- 2023年4月，农业农村部批准了中国首个基因编辑高油酸大豆的生物安全证书，这意味着中国作物基因编辑育种的商业化道路正式开启。
- 2023年10月，农业农村部种业管理司发布《关于第五届全国农作物品种审定委员会第四次审定会议初审通过品种的公示》，作为中国第一次审定转基因品种，标志着生物育种的所有环节已通畅开启。

政策对新技术应用的逐步放开，极大促进了分子育种行业发展：产业端看到市场机会和前景，此前积累的技术储备与研发能力将快速把优良品种推向市场。不仅如此，政策的放开还有助于提高分子育种领域的集中度，通过市场机制盘活产业资源，推动企业成为产业发展主要推动力。

不过与国际相比，中国分子育种相关政策仍有需要落实细化的流程和工作。以美国转基因为例，美国食品药品监督管理局（FDA），美国国家环境保护局（EPA）和美国国务院农业部（USDA）共同监管转基因生物的安全性，以确保转基因生物对人类和环境是安全的，以帮助分子育种公司理解其使用基因工程技术创造新植物需要遵循的规则。在新产品上市前，FDA的植物生物技术咨询项目组（Plant Biotechnology Consultation Program）评估由新的转基因作物制作成的食物安全性^[1]。通过该项目，育种公司与FDA充分沟通，确保新品顺利上市。不仅如此，欧美等国家还在基因专利保护定义方面有详尽解释和说明^[2]。由此可见，严谨、科学地开放我国分子育种领域政策的监管程度，以及明确监管标准和审批标准是未来政策需要强化的方向。

而对于育种4.0 智能育种的推进发展，挪威生命科学大学研究员，法国国家科研署（ANR）的项目评审专家，致守科技（北京）有限公司联合创始人兼首席科学家栾图博士认为，育种是一个漫长持续的过程，且前期回报不显著，为鼓励育种产业快速发展，需要在资金、政策上对先进的育种技术的研发和应用给予大力支持；此外，政府需要引导协调种业领域的不同平台和机构密切合作交流，实现多学科交叉融合的目标；在这个基础上，政府还需要进一步推动多维度、多领域、多学科的数据融合，打破数据孤岛现象，从而满足先进智能育种技术的快速发展的需求。这将有助于中国育种产业快速发展，进一步促进农业快速发展。

数据来源

[1] fda.gov. How GMOs Are Regulated in the United States [EB/OL]. <https://www.fda.gov/food/agricultural-biotechnology/how-gmos-are-regulated-united-states>

[2] OECD. Genetic Inventions, Intellectual Property Rights and Licensing Practices [EB/OL]. <https://www.oecd.org/health/biotech/2491084.pdf>
公开资料、专家访谈、亿欧智库

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 强化种质资源库建设和产业应用

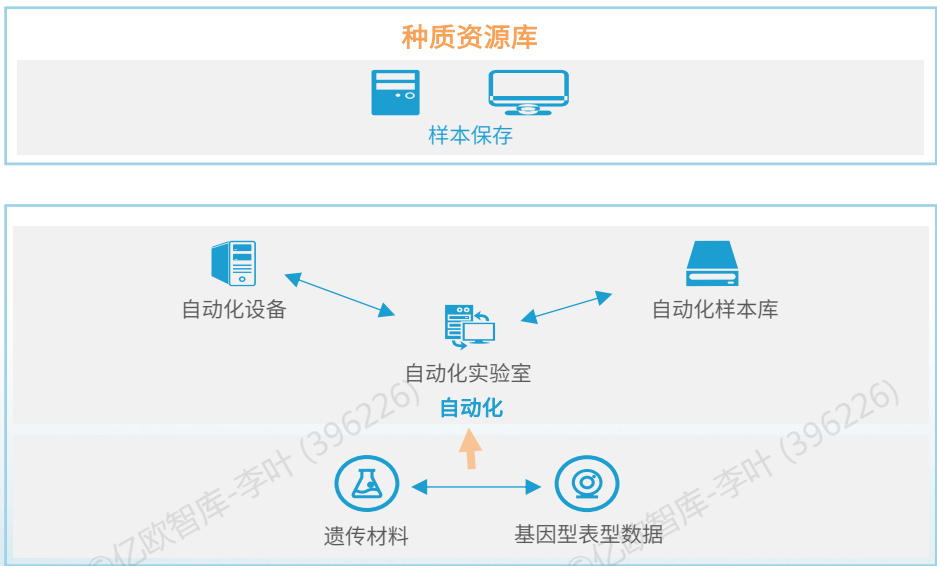
种质资源是分子育种的基本材料，是育种的基础。《中国生物多样性保护战略与行动计划（2011-2030年）》明确：到2030年，使生物多样性得到切实保护，各类保护区数量和面积达到合理水平，生态系统、物种和遗传多样性得到有效保护。种质资源库作为其中一个重要环节，将获得更快发展。当前，中国种质资源库主要发力于样本保存，未来将覆盖更广的样本泛信息度，并且与基因一一对应，这是一项漫长且信息量巨大的工作，差异化基因型检测鉴定将助力种质资源库的快速建立。

对于不同物种间的基因鉴定，技术已经非常成熟，高通量测序成本持续下降使得基因组测序广泛使用。然而，针对每个特殊品种特异性基因鉴定技术，即区分分化时间尚短的同一种物种的基因型检测，还需要逐渐迭代升级。随着相关技术进步，种质资源库的多样性将得到更丰富的完善，奠定智慧育种的基础。

具体来看，种质资源库的建立和存储工作量巨大，当前常规物种的自动化样本库和自动化设备已经逐渐发展起来，但是对于严格意义上的遗传材料（例如：精子及卵母细胞）与传统样本的存储介质和设备不同，自动化存储设备及实验室正在逐步推进中。与此同时，随着种质资源库的入库样本数量逐渐增大，基因型和表型信息将呈指数型增长，数据库智能化管理将成为发展的主要方向，例如：样品信息监控、定期抽检及复原更新等，智能化管理将为智能分子育种奠定数据基础。

不过，种质资源库保存与应用仍有较大差距，这需要市场及行业的及时介入，把现有资源充分利用开发，企业也将在其中发挥重要作用。

亿欧智库：种质资源库的建设



数据来源

公开资料、专家访谈、亿欧智库

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

73/74

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

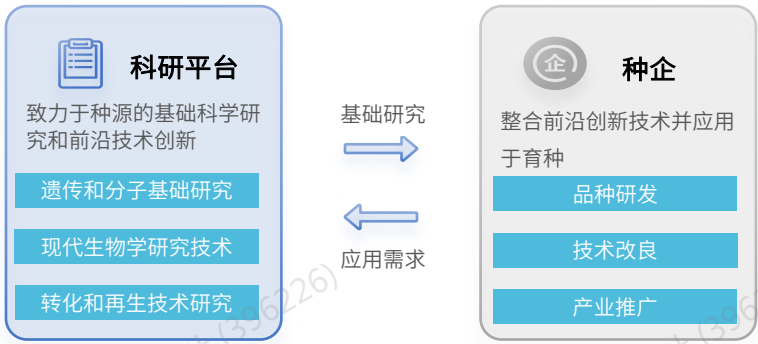
中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 企业引领分子育种行业发展

分子育种企业引领行业发展路径明确

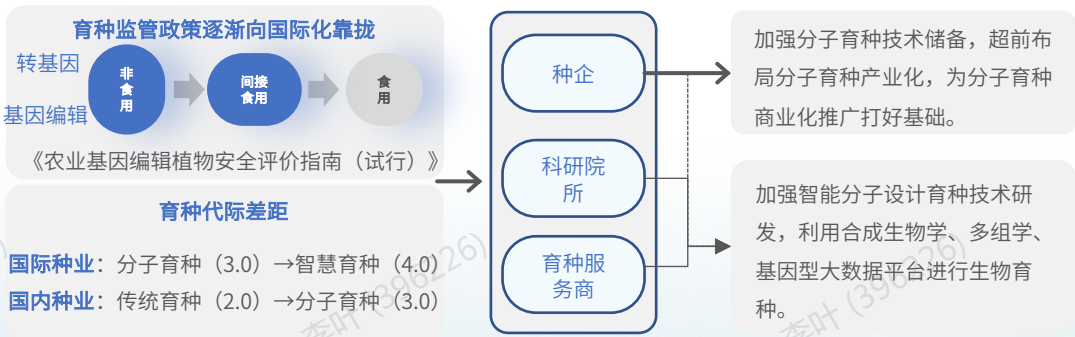
国际范围内，分子标记在生物育种体系建设早期是由政府组织或以项目的名义，联合科研院所、大学、企业共同推进育种工作，企业发展壮大后，逐渐过渡到企业/协会为主，进行市场化运作，形成了分工明确的技术研发和产业化体系。以美国为例，政府通过大型平台，如国家实验室、重大科研基础设施等，致力于种源的科学研究与前沿技术创新，而种企则专注于应用型研究，在了解市场需求的基础上整合前沿创新技术用于育种。

亿欧智库：美国科企协作育种体系



当前中国分子育种正在逐渐向企业主导发展，市场化机制正在逐渐建立。面向未来，分子育种企业需要紧紧把握国内育种产业变革机遇，超前筹划分子育种产业化应用，科研院所、育种服务商及头部种企加大在智能分子设计育种技术领域的研发力度，强化合成生物学、多组学、基因型大数据平台等技术的投入，推动中国种业国际化发展。

亿欧智库：超前筹划分子育种产业化与智能分子设计育种技术



5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

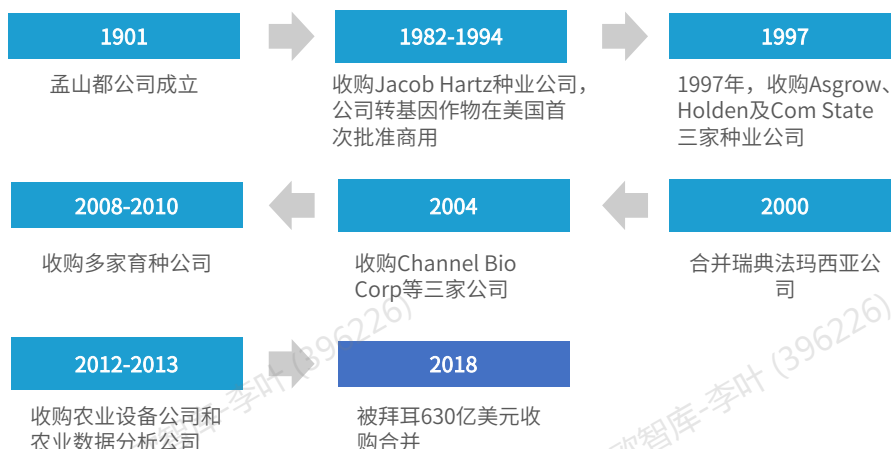
中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 企业引领分子育种行业发展

种企积极开展并购或共建技术平台，提高研发实力，促进产业链协同发展

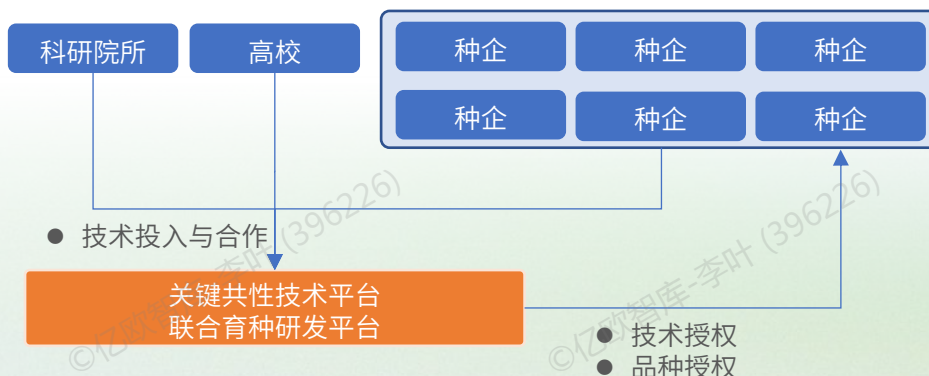
当前全球已经呈现出明显的双寡头垄断格局，产业链一体化趋势明显；而大多数中国种业公司规模小，在增长稳健性、育繁推一体化、盈利能力、研发投入等方面仍与世界种业集团存在差距，在国际市场竞争中较弱。兼并购是企业发展的重要手段之一，通过并购企业可以快速扩大生产经营规模，延伸产业链，降低成本，降低发展风险和增强竞争力。国际种业集团正通过并购不断增强企业实力，横向扩大市场占有率，纵向提高研发水平。

亿欧智库：孟山都通过收并购成为全球种业龙头企业



为推动中国种业快速提升研发能力，一方面，建议种企通过强强联合和兼并重组进行优势互补，提升市场占有率，通过市场优势提高盈利能力反哺企业研发投入。另一方面，加强企业间或与科研院所间的研发合作，通过共建技术平台、筹建联合育种研发平台等方式，制定和完善责权利机制，降低研发风险，完善育繁推一体化建设，提升企业自助创新能力。

亿欧智库：种业企业参与共建关键共性技术平台



数据来源

公开资料、专家访谈、亿欧智库

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 智能分子育种需要复合型人才持续储备

智能分子育种是一项综合学科，需要汇集多方面人才，包括但不限于：遗传学家和基因组学家、分子育种专家、生物信息学家、计算机生物学家、数据专家、人工智能专家、生物工程专家，甚至统计学专家等等，这些专家的通力合作才能使得智能分子育种成为现实。海南大学热带作物学院副院长夏志强认为，新技术需要实现交叉学科的融合，才能爆发下一代的产品创新，这需要专业人员与各个领域人才进行无障碍沟通，实现真正意义上的交叉学科交流。

目前，行业内非常缺乏既懂得生物知识又理解计算机技术的复合型人才。中国科学院西北高原生物研究所副研究员贾功雪认为，分子育种产业内还缺乏技术端和产业端贯通的人才，当前产业无法在技术端和生产端之间做很好的衔接。智能分子育种仍需要大量复合型人才，共同推动产业进步。

科研院所汇聚了中国最优秀的育种人才，要推动新时代的智慧育种体系建设，就要推动科研院所人才有序流向企业。当前国内已有部分省市在积极推动科研人员流向企业。以湖南为例，湖南省农业局在人才引进、人才资源配置、人事管理等方面落实了多项政策，总结出“留职服务、兼职服务、辞职服务和本职服务”四种模式，有力的打通了科研人员流向企业的渠道，为企业提供了研发力量。

亿欧智库：科研人员企业服务模式^[1]

留职服务

科研人员停薪留职到企业从事育种工作，人事关系保留在科研院所。如果返回科研院所，在企业的工龄连续计算。

辞职服务

设立专项基金，对辞职到企业去的科研人员在项目申报方面给予倾斜。

兼职服务

允许科研人员利用富余时间到企业从事育种工作，成果归企业所有，对育成新品的科研人员提成奖励。

本职服务

鼓励科研人员开展商业化育种外包服务，育成的品种归院、企所有，企业享有排他的开发权，以推动农业科研院所的优势资源进入商业化育种领域。

面向未来，顶层规划与政府的大力支持在科企协作前期运行阶段是至关重要的，建议科研院所、高校等机构优化人才管理体系与考核机制，政府有关部门积极介入引导科研院所、高校的人才流向企业，将先进的育种技术、育种经验用于种企育种产业化应用，保护科研人员发明创造的合法权益，提高种企自主创新能力，构建商业化育种体系。由此，在政府的顶层规划和大力支持下推进育种底层技术的研发与产业化应用进程。

数据来源

[1]亿欧智库根据湖南省农科院相关人才流动机制整理
专家访谈、亿欧智库

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

知识产权保护对分子育种产业发展起到举足轻重的作用，不仅可以鼓励创新、吸引投资，还有助于维护市场秩序、鼓励合作、促进技术转移等，从而推动分子育种产业的健康发展。放眼全球市场，能够在分子育种领域中发展成为龙头企业的国家，都离不开完善的知识产权保护体系。目前，中国分子育种知识产权体系尚不完善。需要进一步完善相关法律法规，为企业营造良好的竞争环境。

对于一个优良性状的新物种来说，其投入成本非常高，若无相关专利保护其成果，则产业创新动力会大大减弱，相应技术优势也无法发挥应有的社会价值。在国际范围内，围绕种子本身会有较多专利来保护其位点和突变体，并且包含更多表型性状，其知识产权保护制度比较完善，鼓励科研人员研究成果通过企业转化为市场产品，形成分子育种产业的良性循环。

据访谈专家表示，当前中国审定保护的种子采用植物新品种保护，尚未纳入到知识产权局统一管理，创新育种材料到品种需要较长的时间，没有针对特异功能性状的知识产权保护措施不利于企业的自主研发，更没有动力投入研发，不敢投入大量的资金进行生物育种新技术的研发，导致种业市场更多依赖传统育种。齐禾生科首席技术官 Kevin Zhao博士表示，当下急需明确保护路径和条款，对生物技术的品种和生物技术本身进行保护，避免种业公司间的种子纠纷。知识产权保护是一切的根本，优秀技术创新不会被人随意侵害，企业才有更强的研发动力。另外，博瑞迪创始人张嘉楠表示，推进知识产权保护政策，需要有切实可行的知识产权保护措施，给予科研机构与企业进行充分沟通交流的空间，鼓励企业进行大规模投入，保护科研成果，鼓励科研成果向市场开放与流动，进一步推进产业化。

亿欧智库：分子育种领域知识产权保护的重要意义

鼓励创新投入

知识产权确保科研机构和企业创新成果不会被他人非法使用或复制，这种保护使得科研人员和企业更有动力进行研究和开发新的分子育种技术。

吸引资金/投资

知识产权可以增加投资分子育种产业的信心：在拥有知识产权保护的前提下，分子育种企业更容易吸引投资，用于进一步研发、市场推广和人才培养等工作。

保护市场份额

知识产权可以防止其他竞争者复制技术或品种，保护企业在市场上的竞争力。如果没有知识产权保护，其他企业可能会轻松获得技术或产品，破坏创新企业的竞争优势。

促进合作与交流

知识产权为企业间的合作提供了保障：企业在受到知识产权法律保护的环境中，更倾向于分享技术、进行合作研究，创造更大的价值体系。

促进技术转移

知识产权使得技术转移更加顺利：科研机构和企业可以放心地将技术授权给其他组织，合法的知识产权框架确保双方的权益和义务。

5. 中国分子育种产业的发展路径和战略举措

5.1 分子育种政策持续完善，推动行业快速发展

5.2 强化种质资源库建设和产业应用

5.5 进一步深化分子育种产学研跨领域沟通

5.3 企业引领分子育种行业发展

5.4 智能分子育种需要复合型人才持续储备

5.6 知识产权保护是分子育种行业发展的“护城河”

5.7 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国分子育种产业的发展路径和战略举措

◆ 分子育种与农业数字化有机结合，促进农业发展智慧化变革

中国农业发展需要经历四个阶段，中国农业大学李道亮教授将其定义为农业1.0到农业4.0：农业1.0传统农业、农业2.0小型规模化农业、农业3.0自动化农业、农业4.0智慧化农业。农业4.0阶段，农业将实现设施化、装备化、自动化、智能化和精准化，中国农业将逐渐向农业4.0迈进^[1]。

分子育种技术创新是农业科创创新的起点，农业数字化是分子育种技术价值实现的放大器。面向未来，推动中国农业科技创新与产业发展，要将分子育种技术与农业数字化相融合，通过数字化转型推进智慧三农发展，让分子育种成为乡村振兴、农业发展、农村稳定、农民增收的重要一环。

亿欧智库：分子育种与数字化推动农业产业智慧化发展

分子育种

种质资源数据库：依托全国统一的国家种业大数据平台，绘制农业种质资源分布底图，构建分子指纹图谱库；

精准育种全链条数字化：加强数字技术在育种研发、制种基地中的应用，打通数据库联结，实时监测育种表型数据，支撑数字化智慧育种产业发展；

育种分析数字化：实验室自动化、智能分析决策软件等未来将大大加快分子育种技术的应用效率与精准度。

农业数字化

建设农业资源数据：形成耕地数据库、种植资源数据库、渔业水域数据库等农业资源数据库，为农业分子育种技术产业化应用提供繁育推广的合适场景；

生产经营数字化：提升农业生产数字化水平，以优质种源为起点，加强水肥药精准施用、精准种植、农业智能作业等技术的联合应用，通过数字化转型实现农业生产效率最大化与智慧化。

技术底座

AI

大数据

云计算

物联网

虚拟现实

自动化

卫星遥感

互联网

数据来源

[1]李道亮. 农业4.0——即将到来的智能农业时代[J]. 农学学报, 2018, 8(01): 207-214. 亿欧智库整理
专家访谈、亿欧智库

特别鸣谢

◆ 在报告撰写过程中，亿欧智库得到了行业内各位专家及企业的支持，在此向他们表示感谢。亿欧智库将持续关注中国农业分子育种产业的发展进程，也欢迎行业内企业与机构与我们联系交流，提出您的报告意见。

◆ 鸣谢以下专家参与访谈（排序以姓氏首字母为准）

- 贾功雪 博士 中国科学院西北高原生物研究所副研究员
- 栾图 博士 挪威生命科学大学研究员，致守科技（北京）有限公司联合创始人兼首席科学家
- 夏志强 博士 海南大学热带作物学院副院长
- Kevin Zhao 博士 齐禾生科生物科技有限公司首席技术官
- 张嘉楠 博士 石家庄博瑞迪生物技术有限公司创始人

组织机构和团队介绍

◆ 发起机构：深圳华大智造科技股份有限公司

深圳华大智造科技股份有限公司（简称华大智造）秉承“创新智造引领生命科技”的理念，致力于成为生命科技核心工具缔造者，专注于生命科学与生物技术领域，以仪器设备、试剂耗材等相关产品的研发、生产和销售为主要业务，为精准医疗、精准农业和精准健康等行业提供实时、全景、全生命周期的生命数字化设备和系统。

在农业生物育种领域，华大智造致力于为科学家和育种工作者提供高通量、低成本、稳定性的农业基因组学应用产品，通过成本可控的分子育种工具，广覆盖生物育种的产学研需求，提高育种效率，助力农业产业提升。

◆ 策划机构：亿欧智库

亿欧智库（EO Intelligence）是亿欧旗下的研究与咨询机构。为全球企业和政府决策者提供行业研究、投资分析和创新咨询服务。亿欧智库对前沿领域保持着敏锐的洞察，具有独创的方法论和模型，服务能力和质量获得客户的广泛认可。

亿欧智库长期深耕新科技、消费、大健康、汽车出行、产业/工业、金融、碳中和、元宇宙等领域，旗下近100名分析师均毕业于名校，具有丰富的从业经验。亿欧智库是中国极少数能同时生产中英文深度分析和专业报告的机构，分析师的研究成果和洞察经常被全球顶级媒体采访和引用。同时，亿欧内部拥有一个由数万名科技和产业高端专家构成的资源库，能够为亿欧智库的研究和咨询提供强大支撑，使研究成果更具洞察性和落地性。

◆ 报告作者：



高昂

亿欧 董事总经理
亿欧大健康 总裁
Email: gaoang@iyiou.com

史姗姗

亿欧智库 研究总监
Email: shishanshan@iyiou.com

王辉

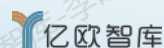
亿欧智库 副院长
Email: wanghui@iyiou.com

刘星宇

亿欧智库 分析师
Email: liuxingyu@iyiou.com



◆ 报告审核：



团队介绍和版权声明

◆ 版权声明：

本报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于智库的专业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。本报告的信息来源于已公开的资料，亿欧智库对该等信息的准确性、完整性或可靠性作尽可能的追求但不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映亿欧智库于发布本报告当日之前的判断，在不同时期，亿欧智库可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。亿欧智库不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，亿欧智库对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者可自行关注相应的更新或修改。

本报告版权归属于亿欧智库，欢迎因研究需要引用本报告内容，引用时需注明出处为“亿欧智库”。对于未注明来源的引用、盗用、篡改以及其他侵犯亿欧智库著作权的商业行为，亿欧智库将保留追究其法律责任的权利。

◆ 关于亿欧：

亿欧EqualOcean是一家专注科技+产业+投资的信息平台和智库；成立于2014年2月，总部位于北京，在上海、深圳、南京、纽约有分公司。亿欧EqualOcean立足中国、影响全球，用户/客户覆盖超过50个国家或地区。

亿欧EqualOcean旗下的产品和服务包括：信息平台亿欧网（iyiou.com）、亿欧国际站（EqualOcean.com），研究和咨询服务亿欧智库（EqualOcean Intelligence），产业和投融资数据产品亿欧数据（EqualOcean Data）；行业垂直子公司亿欧大健康（EqualOcean Healthcare）和亿欧汽车（EqualOcean Auto）等。



深圳华大智造科技股份有限公司
深圳市盐田区北山工业区综合楼及11栋2楼

✉ MGI-service@mgi-tech.com 🌐 www.mgi-tech.com ☎ 4000-966-988

仅供研究使用

版权声明：本手册版权属于深圳华大智造科技股份有限公司。未经本公司书面许可，任何其他个人或组织不得以任何形式将本手册中的各项内容进行复制，拷贝，编辑或翻译为其他语言。本手册中所有商标或标识均属于深圳华大智造科技股份有限公司及其提供者所有。