

生物制造系列报告①——

把握合成生物发展趋势，聚焦产业链上下游突破

■ **合成生物学：从“格物致知”到“造物致用”，推动产业技术变革和生物经济发展。**合成生物学汇聚了多学科发展，基于工程化的设计理念，对生物体进行有目标地设计、改造乃至重新合成，甚至创建赋予非自然功能的“人造生命”，推动了从认识生命到设计生命的跨越，正在引领产业技术变革和生物经济发展。合成生物学在医药、化工材料、食品农业以及生物能源等多领域展现了颠覆性、渗透性作用，以其绿色、低碳和循环特点，具备引领“第四次工业革命”潜力。

■ **政策与技术发展双轮驱动，伴随下游市场逐步成熟，市场规模快速增长。**

《2024年国务院政府工作报告》提出加快发展新质生产力，生物制造作为战略性新兴产业被定义为经济新增长引擎，建设生物制造产业集群已成为多省市工作重点。在底层技术开发方面，低成本高通量测序、DNA合成技术、基因组编辑以及发酵技术等取得重要进展，加快从认识、改造生命向设计、创造生命跨越。在政策以及技术推动下，伴随下游市场逐步成熟，合成生物学迎来高速发展。据麦肯锡分析，预计在2030-2040年，合成生物学每年带来的经济影响将达到1.8至3.6万亿美元。据CB Insights的预测，2019年全球合成生物学市场规模约为53亿美元，到2024年将扩容至约189亿美元，2019-2024CAGR为28.8%。

■ **聚焦合成生物产业链，重点关注下游重磅品种突破。**合成生物从产业链角度，主要分为原料层、工具层、技术平台层以及下游应用层。**原料层：**目前正从第一代碳源往二三代碳源升级，农业产业化下秸秆是较有潜力的原料升级方向，远期有望在风能、光能、水能等可再生能源驱动下，以CO₂、甲烷、CO等一碳化合物作为原料，去实现高附加值产品的生物合成。**工具层：**分散化创新，未形成较为成熟的产业化形态。**技术平台层：**当前技术平台层仍存在与下游脱离的情况，尚未完全成熟，部分技术平台层企业转型应用开发型。**下游应用层：**下游在医药、大宗化学品、农业以及生物能源已部分突破，是当前关注的重点。下游市场空间广阔，已形成初步产业化效应，规模化快，具备优秀的产业布局价值。

■ **业务机会及风险提示。**（本部分有删减，招商银行各行部请联系研究院，或登录“招银智库”查阅）。

方博

行业研究员

招商银行研究院

☎：0755-83195340

✉：fangbo08@cmbchina.com

相关研究报告



目 录

一、合成生物：造物致用，推动产业技术变革和生物经济发展.....	1
（一）合成生物学的定义以及战略意义.....	1
（二）合成生物学发展史.....	2
（三）合成生物产业链概况：主要分为原料层、工具层、技术平台层以及应用层.....	3
（四）合成生物应用场景：赋能医药、化工材料、能源以及农业食品等领域发展.....	4
二、政策与技术发展双轮驱动，伴随下游应用逐步成熟，市场规模快速增长.....	6
（一）政策端：碳中和背景下生物制造已成为国家战略.....	6
（二）技术发展：核心技术突破加速催化下游应用成熟.....	7
（三）伴随下游应用逐步成熟，合成生物市场规模快速增长.....	9
三、全产业链分析合成生物产业，重点关注上下游突破.....	11
（一）原料：由第一代碳源往二三代碳源升级，重点关注非粮碳源与合成气体方向.....	11
（二）工具：分散化创新，未形成较为成熟的产业化形态.....	13
（三）技术平台：仍存在与下游脱节问题，部分技术平台层企业转型应用开发型.....	15
（四）应用：从“替代”到“颠覆”，重点关注医药、化工、食品农业以及能源等领域选品与突破.....	16
1、医药医疗：原料药主要为环保与低成本替代，创新疗法仍需关注技术与市场匹配性.....	16
2、化工材料：性能与成本平衡是商业化成功关键因素.....	17
3、消费品领域：聚焦高附加值产品，胶原蛋白、玻尿酸等重磅品种率先落地.....	19
4、农业：技术壁垒较高，国内整体仍处于商业化初期.....	20
5、食品工业：待培育的广阔市场，当前处于科研向商业化转化阶段.....	21
6、生物能源：生物燃料目前开发成本较高，实现规模下的成本优势是商业化成功关键.....	23
四、业务机会及风险提示.....	26



图目录

图 1: 合成生物学研发及生产过程	1
图 2: 中国制造业转型升级路径	2
图 3: 合成生物学发展史	3
图 4: 合成生物学产业链概况	4
图 5: 合成生物学技术突破路径	9
图 6: 全球合成生物市场风投及私募股权投资活动	10
图 7: 中国合成生物市场风投及私募股权投资活动	10
图 8: 合成生物全球市场规模	11
图 9: 2020-2050 合成生物学预计每年直接经济影响（万亿美元）	11
图 10: 2030-2040 合成生物学细分领域预计每年直接经济影响（万亿美元）	11
图 11: 合成生物学碳源来源及发展前景分析	12
图 12: 合成气体发酵示意图	14
图 13: 生物基化学产品概况	18
图 14: 合成生物在农业领域应用	21
图 15: 基于合成生物学的未来食品制造	22
图 16: 2023 年生物柴油全球产量结构	24
图 17: 2023 年生物燃料乙醇产量结构	24

表目录

表 1: 合成生物子行业及其应用场景	5
表 2: 生物制造相关政策	7
表 3: 玉米与秸秆可利用性对比	13
表 4: 合成生物学工具层概况	15
表 5: 合成生物学中游转化平台概况	16
表 6: 医药化工领域合成生物应用概况	17
表 7: 合成生物在化工材料领域应用	19
表 8: 合成生物在消费个护领域应用	20
表 9: 合成生物在食品工业领域应用优势与挑战	23
表 10: 生物燃料技术路径及发展现状	25

一、合成生物：造物致用，推动产业技术变革和生物经济发展

（一）合成生物学的定义以及战略意义

合成生物学在生物学研究中汇聚了工程、物理、化学、数学、计算机等学科的进展，基于工程化的设计理念，对生物体进行有目标地设计、改造乃至重新合成，甚至创建赋予非自然功能的“人造生命”，推动了从认识生命到设计生命的跨越，正在引领产业技术变革和生物经济发展。合成生物学受益于基因测序、合成以及编辑等领域内的长足进步，逐渐发展成了以“设计-构建-测试-学习”（DBTL 循环）为核心的研发模式和发酵为主导的放大生产模式。合成生物学由于存在多学科交叉、对技术、成本控制、研发人员要求高，具有强壁垒属性。根据麦肯锡研究，生物制造的产品可以覆盖 60% 化学制造的产品，有望对未来医药、化工、食品、能源、材料、农业等传统行业带来巨大影响。

图 1：合成生物学研发及生产过程



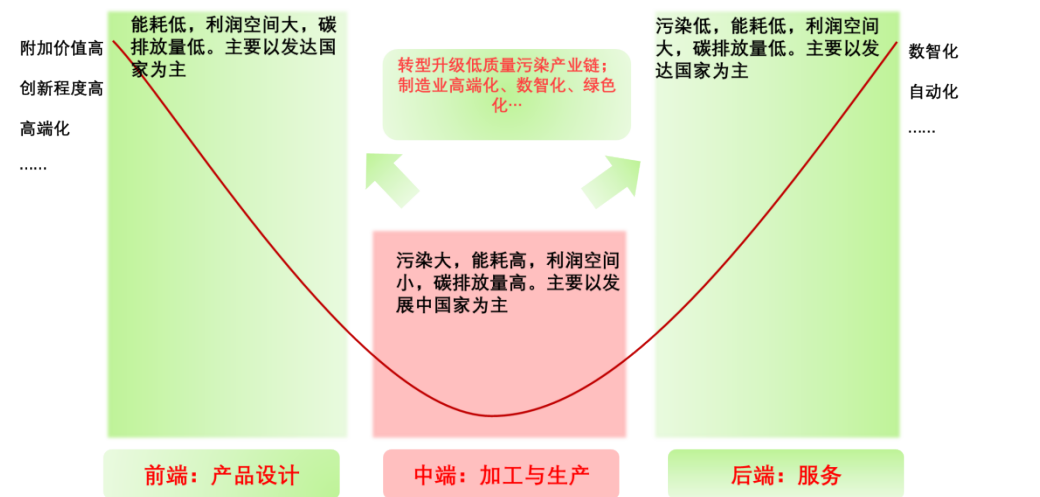
资料来源：《从全球专利分析看合成生物学发展趋势》，招商银行研究院

合成生物学具备至关重要的战略和商业意义。主要体现在两大方面：一是推动了从认知生命到设计生命的跨越，揭开了“造物致用”的产业前景的“帷幕”；二是合成生物本身具备绿色低碳循环的特点，在双碳减排成为产业发展主旋律的当下，有望助力中国制造业向绿色化转型。合成生物与纳米材料、人工智能、大数据科学等交汇融合，开辟了全新的生物技术世界，正在加速向绿色制造、健康诊疗、农业生产、环境保护、生物安全等领域渗透和应用，为培育打造绿色工业经济、破解疾病和衰老难题、保障粮食有效供给、保护绿色生态环境和构建国家安全体系等提供重要解决方案，引领产业技术变革方向，重塑世界产业格局，推动引发生产方式、社会模式的深刻变化。同时，一系列使能技术的突破加快了合成生物学的工程化应用，开创了以构建分子机器(体外催化)和细胞工厂(体内催化)为代表的合成生物制造的新兴生物工程领域，揭开了合成生物学“造物致用”的产业前景的“帷幕”。

合成生物具有绿色低碳循环的特点，有望助力中国制造业向绿色化转型。“双碳”目标下国家迫切需要系统性转型升级以前的工业体系，通过技术进步的方式解决重污染、重能耗的部分。中国由制造业大国向强国升级的过程中，已经将以生物制造为核心的生物经济纳入国家战略，国家《十四五”生物经济

发展规划》明确提出要稳步发展生物能源、替代传统化学原料的生物基材料，构建生物质循环利用技术体系，生物制造从源头降低碳排放，促进产业绿色转型升级，重构产业体系。以合成生物为核心的生物制造主要从减排（重点方向）、固碳、减碳三方面助力国家“双碳”目标。碳减排瞄准重点行业，国内来自能源、工业的碳排放量占比最高，分别约 40%、38%。其中，能源替代方案主要为电力结构转型；工业替代方案主要为原材料替代和绿色生产。合成生物在化石原料的替代、高能耗高物耗高排放工艺路线的替代及传统产业升级方面发挥重要作用。据 KefengHuang 等发表的论文统计，多种生物基材料减排比例超 60%，最高超 90%。固碳：合成生物通过改良自然的碳代谢路径，增强植物和微生物的固碳能力；减碳：第三代生物能源技术利用微生物细胞工厂，将可再生能源和大气中的二氧化碳转化为燃料和化学物质，已有部分商业化案例。

图 2：中国制造业转型升级路径



资料来源：公开资料，招商银行研究院

（二）合成生物学发展史

梳理合成生物学发展史，合成生物学的发展大致分为四个阶段，在技术突破以及应用领域拓展过程中逐渐完成 DBTL 循环为核心的研发模式。**创建时期（2004 年以前）**：产生了许多具备领域特征的研究手段和理论，特别是基因线路工程的建立及其在代谢工程中的成功运用，这一时期的典型成果是青蒿素前体在大肠杆菌中的合成。**扩张和发展期（2004-2007 年）**：领域有扩大趋势，但工程技术进步比较缓慢。技术突破上，实现了 RNA 调控装置的开发，整个领域的设计范围开始从以转录调控为主，扩大到转录后和翻译调控；应用开发上，2006 年首次实现利用工程化改造的大肠杆菌侵入癌细胞，成为工程化活体疗法的先驱。**快速创新和应用转化期（2008-2014 年）**：基础研究快速发展，合成生物学研究开发总体上处于工程化理念日渐深入、使能技术平台得到重视、工程方法和工具不断积淀的阶段，体现出“工程生物学”的早期发展特点。同时基因组编辑的效率大幅提升，合成生物学技术开发和应用不断拓展，其应用领域从生物基化学品、生物能源扩展至疾病诊断、药物和疫苗开发、作物育种、

环境监测等诸多领域。**新发展阶段（2015年以后）**：合成生物学的“设计—构建—测试”循环扩展至“设计—构建—测试—学习”“半导体合成生物学”“工程生物学”等理念或学科的提出，生物技术与信息技术融合发展的特点愈加明显。

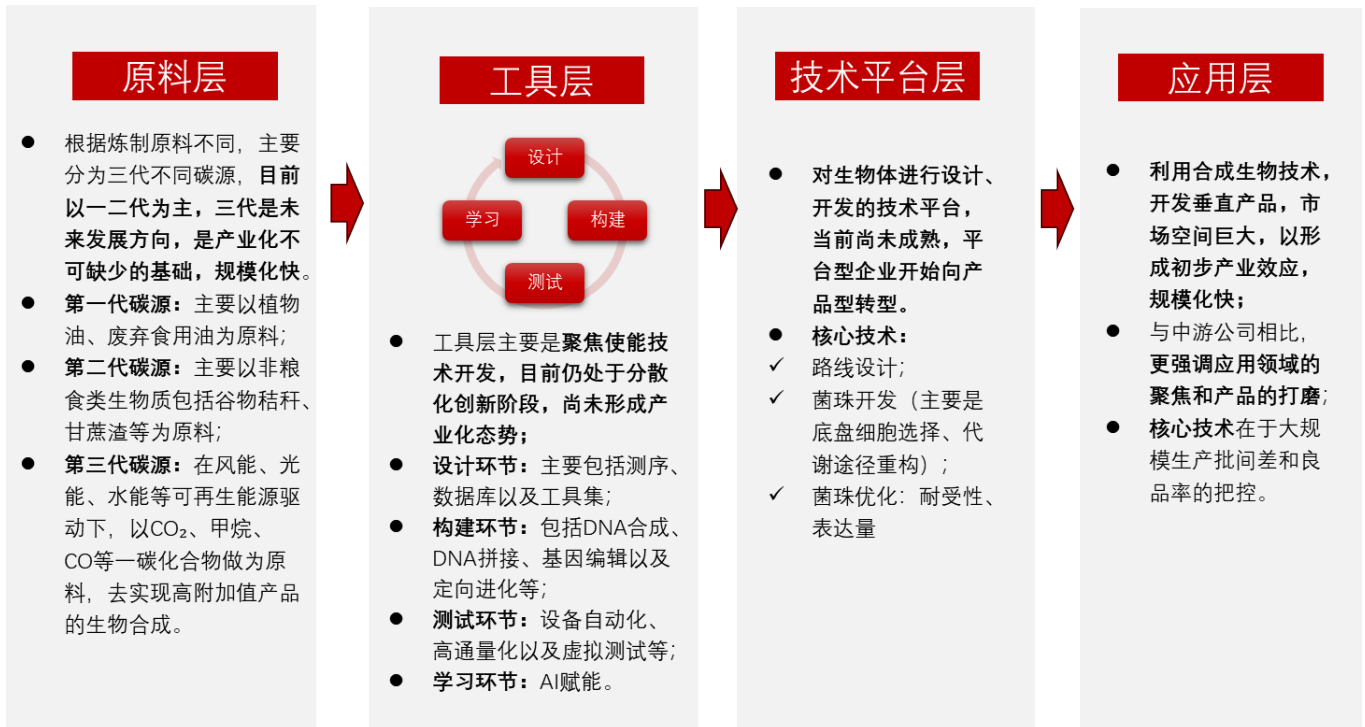
图 3：合成生物学发展史



资料来源：《从全球专利分析看合成生物学发展趋势》，招商银行研究院

（三）合成生物产业链概况：主要分为原料层、工具层、技术平台层以及应用层

合成生物学产业链可分为原料层、工具层、技术平台层以及应用层四个环节。原料层主要为微生物代谢所需的可再生原料。包括以植物油、废弃食用油为原料的第一代碳源；非粮食类生物质包括谷物秸秆、甘蔗渣等为原料的第二代碳源以及在风能、光能、水能等可再生能源驱动下，以CO₂、甲烷、CO等一碳化合物做为原料的第三代碳源。工具层主要聚焦使能技术的开发包括读—写—编—学、自动化/高通量化和生物制造等，关注底层技术颠覆及提效降本。技术平台层是通过算法、模型、机器学习等手段来预测合成效果，模拟代谢路径等对生物系统和生物体进行设计、开发的技术平台，与下游企业相比，更强调技术平台的通用性。应用层则通过这些片段DNA来合成或者改造微生物，并得到合成产物的应用研究，具体涉及衣食住行多方面的应用开发以及产品落地。核心技术在于大规模生产的成本、批间差及良品率等的把控，与中游企业相比，更强调应用领域的聚焦、产品的精细打磨及商业化放量。中下游企业之间并无明确界限，现阶段行业整体尚处在产业发展早期，不少生物技术公司实质上为中下游一体化布局。

图 4：合成生物学产业链概况

资料来源：BCG 咨询，招商银行研究院

（四）合成生物应用场景：赋能医药、化工材料、能源以及农业食品等领域发展

合成生物学作为赋能型技术，就像 20 世纪初蓬勃发展的石油工业一样，有潜力在未来的一个世纪发展成为人类的工业基础之一，并将触角延伸到人类生活的方方面面。合成生物学正在推动一场制造业革命，探索替代原料和原有生产工艺，并进一步延伸到性能更好的产品开发。

当前合成生物学主要以**成本、创新以及循环**为制造业赋能。成本方面主要是替代原有制造路线（化学合成或者天然提取），提高生产效率和经济效益；创新方面主要是创造疗效更好的药品、性能优越的化学品或材料等新产品的潜力；循环方面主要有望实现可持续的“循环”生产模式，使用可再生生物质原料，显著减少对化石燃料的依赖。

从产品视角，可根据终产品的需求体量和单位价值将合成生物学赋能场景划分为三类。第一类为市场需求量少、单位价值高的产品，主要下游应用为健康领域医药开发。这类产品往往面对着生物医药行业的通用挑战一需具备差异化优势、需通过临床检验（开发周期长、风险大且成本高）、需满足 GMP 生产要求等。第二类为市场需求量中、单位价值中的产品主要包括农业和精细化学品，下游应用为高性能材料、消费品、原料药/中间体等领域。这类产品市场高度分散、可开发产品多，需识别高潜力、高可行的机会。但开发新分子、开辟新市场在高收益的同时也面临高风险如研发上缺乏对目标分子设计的明确理论指导，商业上对营销能力的要求也较高，相关法规监管也需逐一突破。第三类为市场需求量大、单位价值低的产品，主要为大宗化学品（包括基础化学

品和普通材料)、生物能源等。这类产品所面临的挑战主要是正确的可行性预判(生物合成能否成本占优),以及“超级工厂”级别的超大规模生产挑战(如原料供给是否充裕稳定、生产产能建设、纯化能力等)。

表 1: 合成生物子行业及其应用场景

产品类型	代表性赛道	代表性细分领域
高产品单价、低需求量 ✓ 需求类型: 存量替代+增量拓展 ✓ 商业化门槛: 通过临床试验,通过 GMP 生产要求	创新疗法	合成生物学在治疗药物研发上的应用主要有细菌工程化改造、人工病毒/噬菌体、人体自体细胞改造、基因治疗及基因编辑;更广义的定义中还包括 DNA 及各类 RNA 疗法等
中产品单价、中需求量 ✓ 需求类型: 存量替代+增量拓展,可开发产品多、选品困难 ✓ 商业化门槛: 需要配备高通量筛选设备;发酵产能有限;中国监管较严,新材料可能难以获批;需要市场营销	农业	粮食作物领域又可分为育种、作物保护、作物营养等赛道,合成生物学在各细分领域均可发挥作用。其中,部分设计育种、固氮肥料和微生物农药已实现商业化。
	食品与营养	植物基食用蛋白;发酵法食用蛋白;细胞基食用蛋白;营养添加剂/香精香料等
	消费个护	以玻尿酸、胶原蛋白为代表的动/植物提取物;以烟酰胺等为代表的化学合成;以天然防晒剂为代表的类菌孢素氨基酸类等
	高性能材料	以 PHA 为代表的新型聚合材料;高性能蛋白等
低产品单价、高需求量 ✓ 需求类型: 存量替代为主 ✓ 商业化门槛: 较难进行行业可行性预测,如可用生物替代品取代的产品类别、生物合成能否成本占优等;生物基碳源数量有限且对纯化要求高;可能存在污染物排放,对选址和污水处理要求高	原料药和医药中间体	主要以发酵法生产的药物以及由其衍生的中间体和原料药,包括抗生素、维生素和他汀类药物等
	大宗化学品	合成生物学可合成的大宗化学品仅几十种,在整体基础化学品中的占比还非常有限,未来提升空间巨大。当前,乙醇、丙二醇等基础化工品已基本实现合成生物学生产替代,乙二酸、丁二酸、1,4-丁二醇、乳酸等分子已在逐步产业化,合成生物学展示出明显成本优势;3-羟基丙酸、丙烯酸等已实现技术突破,产业化在即。
	生物能源	合成生物学将通过优化碳源(如用纤维素代替粮食作物)、探索新生物能源形式这两个方面作用于生物能源产业发展。生物能源面临高昂成本和低廉价值的矛盾,一旦单位热值成本与化石燃料持平,其可再生特性将带动行业快速成长。如纤维素乙醇、生物柴油、劣质蛋白生产沼气等可实现碳源优化,而生物脂肪烃、生物氢、生物电等可作为新生物能源。

资料来源: BCG 咨询, 招商银行研究院

二、政策与技术发展双轮驱动，伴随下游应用逐步成熟，市场规模快速增长

（一）政策端：碳中和背景下生物制造已成为国家战略

碳中和背景下生物制造作为战略性新兴产业被定义为经济新增长引擎。国内最早从“十二五”开始国家提出对生物制造的支持；到“十三五”，国家将合成生物技术列为引领产业变革的颠覆性技术之一。此后国家出台一系列政策支持合成生物的发展，“十四五”强调了对生物合成的应用，《2024年国务院政府工作报告》提及要加快发展新质生产力，打造生物制造等新增长引擎。生物经济已成为国家未来发展规划的重要战略组成部分，生物制造整体转型已经成为中国未来发展的必经之路。在国家大力支持的大背景下，中央及区域陆续出台生物制造产业相关政策，各地生物制造产业迎来了发展的黄金时段。

表 2：生物制造相关政策

时间	部门	政策	主要内容
2024.03	国务院	2024《政府工作报告》	报告中重点提到要加快发展新质生产力，积极打造 生物制造 、商业航天、低空经济等新增长引擎
2023.12	工业和信息化部等八部	《关于加快传统制造业转型升级的指导意见》	指出要大力发展 生物制造 ，增强核心菌种、高性能酶制剂等底层技术创新能力，提升分离纯化等先进技术装备水平，推动生物技术在食品、医药、化工等领域加快融合应用。
2023.12		《中央经济工作会议》	打造 生物制造 、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业，广泛应用数智技术， 绿色技术 ， 加快传统产业转型升级
2023.08	国家发展改革委等十部门	《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》	提及一系列合成生物学相关技术应用领域；二氧化碳资源化利用及固碳示范项目等相关重点内容
2023.08	工业和信息化部等七部	《石化化工行业稳增长工作方案》	支持开展非粮生物质生产生物基材料等产业化示范，打造化工新材料、非粮生物基材料等细分领域中小企业特色产业集群
2023.07	工业和信息化部等三部门	《轻工业稳增长工作方案（2023-2024年）》	加快非粮原料应用，提升非粮生物质低成本糖化技术工艺水平，促进生物制造可持续发展。推动活性原料生物制造规模化生产，加大在食品、化妆品等行业的应用。
2023.01	工业和信息化部等六部门	《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》	突破非粮生物质高效利用关键技术，推进技术放大和应用示范
2022		《“十四五”生物经济发展规划》	纲领性文件。推动合成生物学关键技术创新，以及在医药、农业、环境、能源和材料领域应用

资料来源：政府官网，招商银行研究院

从地方政府角度，北京、上海、天津、江苏、广东、山西、重庆、湖北、甘肃、贵州、福建等地，均明确提出了合成生物学方向的规划和布局，陆续出台支持合成生物学产业发展的落地政策。其中，北京在2021年11月发布《北京市“十四五”时期国际科技创新中心建设规划》，其中提出重点研发一批高效遗传转化、精准基因编辑、合成生物技术等关键技术，构建现代化生物

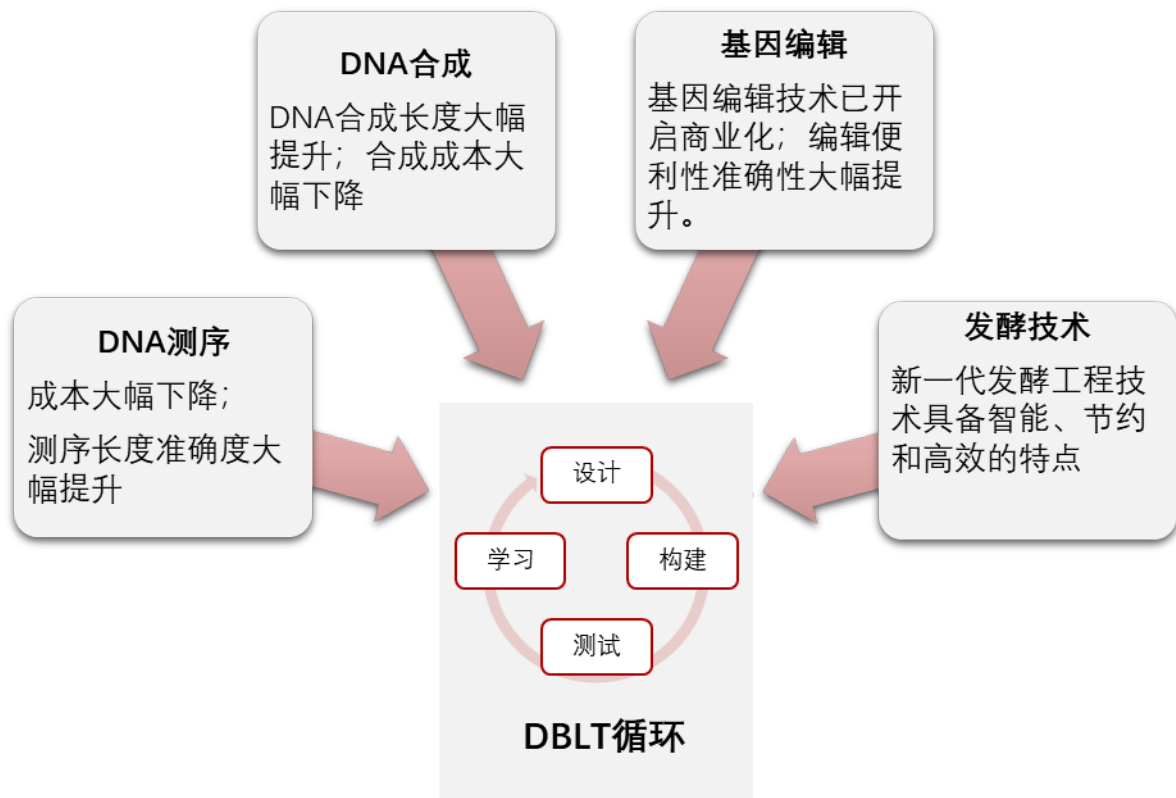
育种技术体系，培育一批重大动植物新品种，为保障国家粮食安全和食品安全提供品种与技术储备。天津在 2021 年 8 月发布的《天津市科技创新“十四五”规划》中 17 次提到合成生物学，天津目标成为全球合成生物技术的原始创新策源地以及合成生物学产业的战略高地。上海自 2022 年起密集发布了合成生物学产业相关政策，《上海市加快合成生物创新策源打造高端生物制造产业集群行动方案（2023-2025 年）》中提出到 2030 年建设合成生物全球创新策源高地、国际成果转化高地和国际高端智造高地，基本建成具有全球影响力的高端生物制造产业集群的目标。广东省在《广东省科技创新“十四五”规划》中提出将合成生物学领域作为“前沿技术和颠覆性技术研究”实施研发专项，以及加快建设合成生物研究重大科技基础设施等。

（二）技术发展：核心技术突破加速催化下游应用成熟

合成生物学的核心技术是底盘细胞的构建和生产规模的放大。菌种的改造和高效的工业化生产能力是合成生物学产业化成功的关键因素，生物法大部分反应步骤均在微生物或酶的作用下进行，菌种自身的性能如效率和鲁棒性很大程度上决定了其是否适合产业化。改造底盘细胞，使优化的底盘细胞增加重构途径中的物质和能量供应，减少细胞内源的消耗、杂质的生成，解除引入产物对细胞的反馈抑制或毒性作用，使菌种具有更好的操作性、鲁棒性，这些策略都是实现高效生物制造的关键。此外，生物制造一般会经历更为严格的小试、中试、放大过程，去探索不同条件下最优的生产条件、工艺参数、设备选型等，这些对大规模、低成本生产极为重要。在底盘细胞构建的过程中，**基因测序技术**主要用于关键生物酶的基因序列的测序以及检测宿主细胞是否被正确改造；**基因合成技术**主要应用于合成编码关键生物酶的基因片段；**基因编辑技术**则主要用于对宿主的基因组进行改造；**发酵技术**主要应用于大规模、低成本生产。

伴随基因合成和基因编辑技术等颠覆性使能技术突破性发展，下游应用加速成熟。**DNA 测序技术**：DNA 测序成本因技术进步显著降低，二代测序成为主流，每兆碱基测序成本从 2001 年的 1000 美元降至 2022 年的 0.01 美元。三代测序技术提升序列长度和复杂序列准确性。**DNA 合成技术**：相比一代技术，二代技术通量高、成本低，但存在单序列合成载量低，单条序列分离困难等技术局限。目前 DNA 合成由二代向三代迈进，第三代主要为生物酶合成，具有高效、环保的特点，有望快速合成超 1000nt 单链 DNA，第三代 DNA 合成目前处于商业化初期。**基因编辑技术**：CRISPR-Cas9 基因编辑技术因其高效、低成本和多目标编辑能力，引领了基因编辑领域。**发酵技术的革新**加速了合成生物学产品的产业化进程，成为关键促成因素，特别是在 21 世纪以来，随着现代发酵工程的发展，由天然发酵到大数据加持下的深层发酵的进展，为合成生物学应用奠定了坚实基础。

图 5：合成生物学技术突破路径



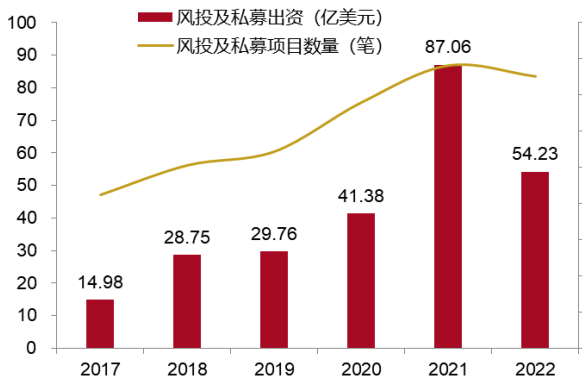
资料来源：波士顿咨询，招商银行研究院

在政策以及技术发展驱动下，合成生物投融资整体呈现高速增长。根据 Pitchbook 数据显示，在 2017 年至 2021 年的五年间，全球合成生物市场对风险投资和私募股权投资者的吸引力不断提升。2021 年，合成生物市场吸引投资达到近年来高点，融资额达 87 亿美元，融资笔数达 391 笔。在投资者的支持下，合成生物学的技术应用及场景拓展进入快速发展通道。2022 年之后资本市场逐渐回归理性。2022 年，全球合成生物融资额为 54 亿美元，融资笔数为 376 笔。2023 年前三季度，资本市场融资额 20 亿美元，融资笔数 193 笔，较前一年同期亦有所下降。在此背景下，市场估值环境也进一步向理性发展。

在国内资本市场，合成生物学也是一个高度活跃的赛道。从 2017 年至 2021 年的五年间，风投及私募股权投资额从 5100 万美元上升至 19 亿美元，融资笔数从 12 笔上升至 74 笔。2021 年也是国内合成生物资本投资的大年。2021 年 10 月，国内合成生物医美公司巨子生物以 11 美元 A 轮融资额，成为当年度单笔融资最大的合成生物投资项目。中国合成生物市场与全球高度协同，因此进入 2022 年以来资本市场进入相对冷静期。2022 年，国内合成生物赛道融资额接近 11 亿美元，融资笔数 93 笔。2023 年前三季度，国内资本市场融资额 5.5 亿美元，融资笔数 58 笔。

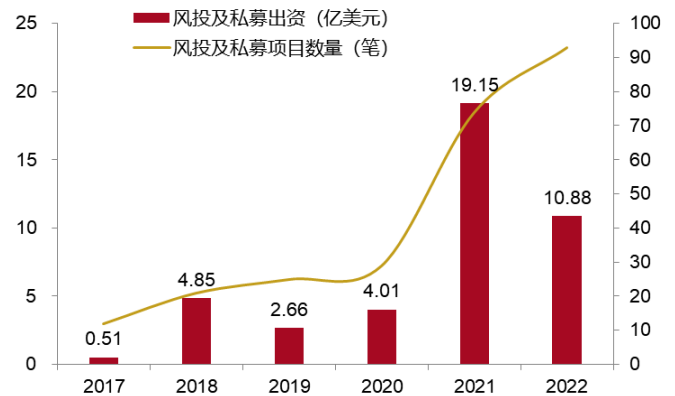


图 6：全球合成生物市场风投及私募股权投资活动



资料来源：Pitchbook，招商银行研究院

图 7：中国合成生物市场风投及私募股权投资活动

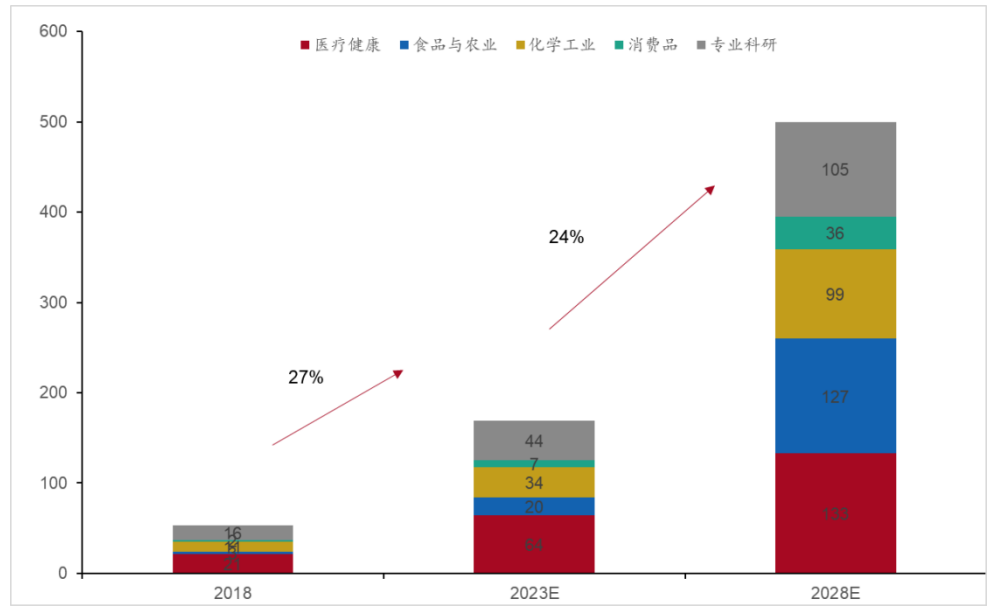


资料来源：Pitchbook，招商银行研究院

（三）伴随下游应用逐步成熟，合成生物市场规模快速增长

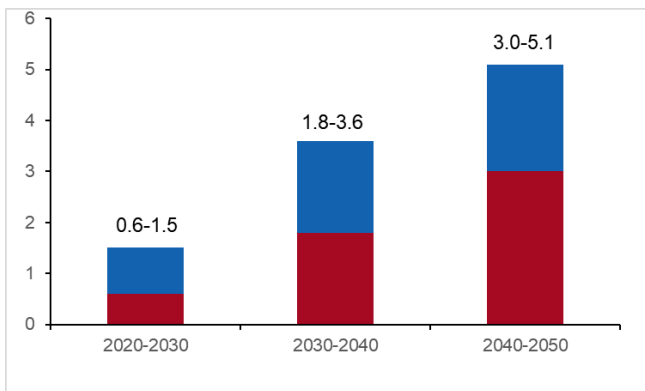
伴随政策与技术驱动，全球合成生物学产业过去五年经历了高速增长，市场规模从 2018 年的 53 亿美元增长到 2023 年的超过 170 亿美元，平均年增长率达 27%。预计全球合成生物市场在可见的未来仍将保持较快发展势头，在 2028 年将成长为体量达到近 500 亿美元的全球型市场，未来增长空间广阔，行业景气度整体维持较高水平。从广义的产业分类而言，合成生物学产业可被界定为以生物基材料替代化石基材料、以生物技术路线替代传统化工技术路线的科技产业，远期看（超过十年），理论技术与应用实践螺旋式发展，当前尚处科研早期或被技术“卡脖子”的领域有望陆续跑通产业化，合成生物学领域有望迎来爆发式增长。根据麦肯锡 McKinsey 发布的报告《The Bio Revolution》，原则上全球 60% 的化学品可以采用生物法生产，到 2030~2040 年，合成生物学每年有望有带来的经济影响将达到 1.8 至 3.6 万亿美元。

图 8：合成生物全球市场规模



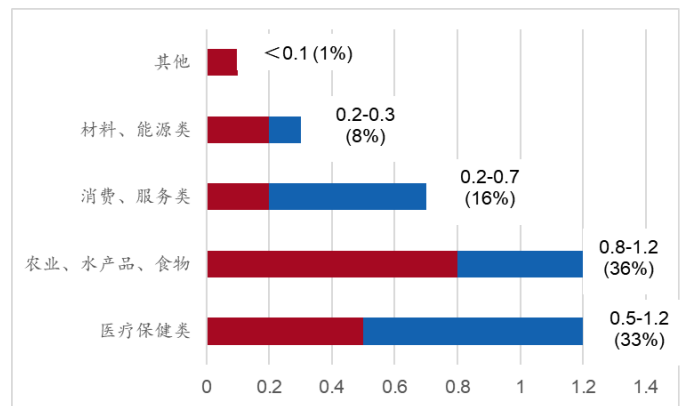
资料来源：CB Insights，招商银行研究院

图 9：2020-2050 合成生物学预计每年直接经济影响（万亿美元）



资料来源：麦肯锡，招商银行研究院

图 10：2030-2040 合成生物学细分领域预计每年直接经济影响（万亿美元）



资料来源：麦肯锡，招商银行研究院

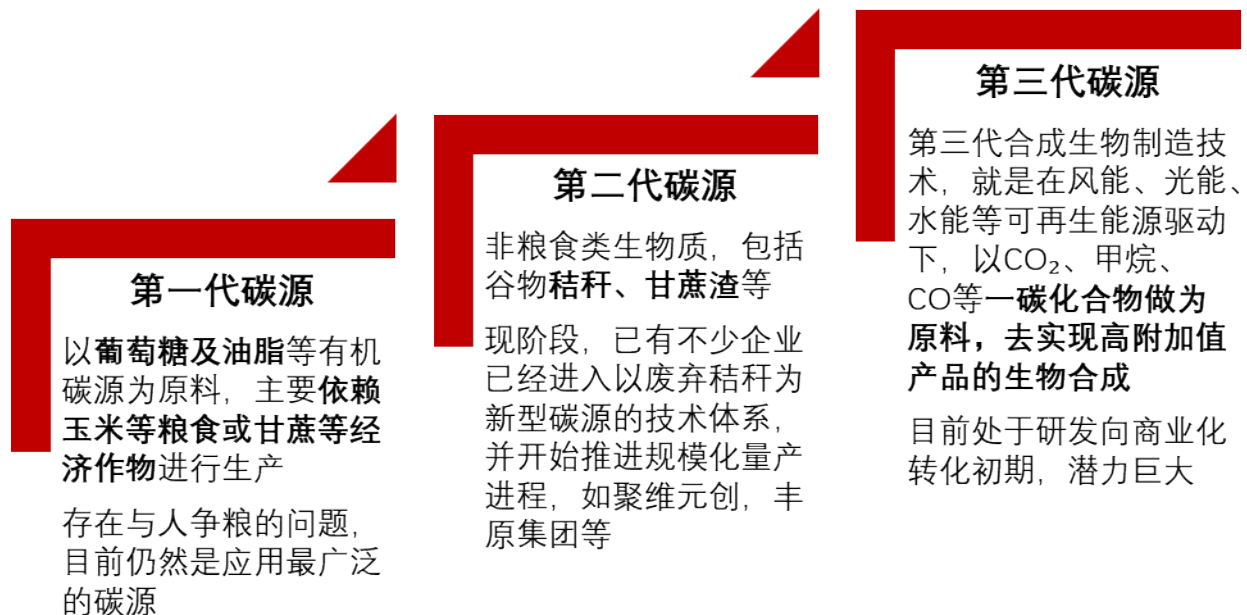
三、全产业链分析合成生物产业，重点关注上下游突破

（一）原料：由第一代碳源往二三代碳源升级，重点关注非粮碳源与合成气体方向

合成生物学产业生态覆盖面庞大，不同技术和产业落地方向多元，且都有相当的市场规模。合成生物学产业大致分为原料层、工具层、技术平台层以及应用层。其中原料层的快速发展是应用层发展的重要基础。

原料层主要分为三代碳源，第一代目前仍然是应用最广泛的碳源。第一代碳源主要以葡萄糖及油脂等有机碳源为原料，主要依赖玉米等粮食或甘蔗等经济作物进行生产，存在与人争粮的问题，但目前仍然是应用最广泛的碳源。第二代碳源主要是非粮食类生物质，包括谷物秸秆、甘蔗渣等。现阶段，已有不少企业已经进入以废弃秸秆为新型碳源的技术体系，并开始推进规模化量产进程，如聚维元创，丰原集团等。第三代合成生物制造技术，是在风能、光能、水能等可再生能源驱动下，以 CO₂、甲烷、CO 等一碳化合物做为原料，去实现高附加值产品的生物合成，目前处于研发向商业化转化初期，潜力巨大。

图 11：合成生物学碳源来源及发展前景分析



资料来源：各公司官网，招商银行研究院

从原料层升级方向看，目前正从第一代碳源往二三代碳源升级，现阶段非粮碳源如秸秆是较有潜力的原料升级方向，远期有望在风能、光能、水能等可再生能源驱动下，以 CO₂、甲烷、CO 等一碳化合物做为原料，去实现高附加值产品的生物合成。一代碳源也即粮食作为碳源的技术路线在产业化上已经得到基本验证，然而从“产量、价格和国家政策”这三大因素综合来看，以粮食

作为主流碳源已无法支撑生物基产业相对较大规模化发展。因此非粮碳源是未来产业布局的第一站点。碳源占产线的成本往往较高，也是影响产品价格的核心因素。比如在 PHA、PLA 的生产中，制造所用底料（葡萄糖或淀粉）占总成本约 50%；在生物基丁二酸的生产中，糖的成本占比近 40%。现阶段，已有不少企业已经进入以废弃秸秆为新型碳源的技术体系，并开始推进规模化量产进程。相比于玉米，秸秆储量相对丰富、价格低廉、具有高含糖量，有望替代粮食作为新型碳源广泛应用，秸秆高值化利用的支持政策也将加速秸秆的产业化进程。秸秆基生物合成的流程主要为：纤维提取及分离-酶解糖化-代谢合成，以秸秆为碳源目前仍存在部分技术难点与产业化难点问题，但随着各家企业研发的投入，部分企业如凯赛生物、聚维元创等已开始利用秸秆实现规模量产。

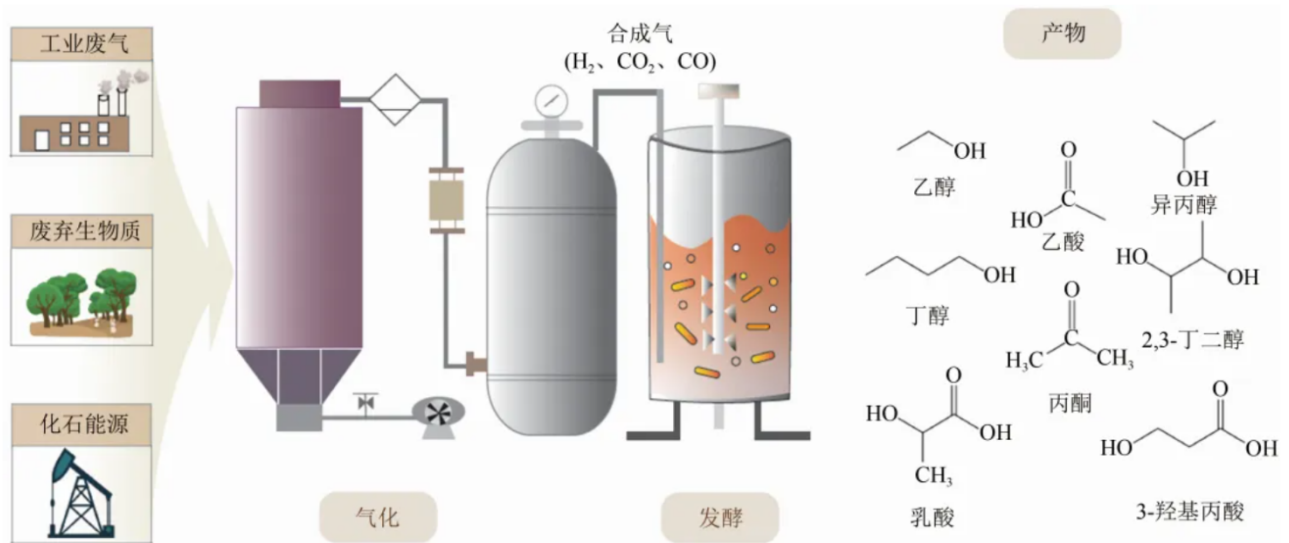
表 3：玉米与秸秆可利用性对比

原料	主要成分	堆积密度 (吨/立方米)	价格 (元/吨)	产量 (亿吨)	转化难易程度
玉米	淀粉 (55-70%) 水 (10-20%) 油脂 (3-8%)	0.6-0.8	2000-2900	2.7	较易
秸秆	纤维素 (30-40%) 半纤维素 (15-20%) 木质素 (30-40%) 少量灰分	小于 0.2	300-500	9	较难

资料来源：DT 新材料，招商银行研究院

合成气生物转化是另外一条重要路径，自然界中存在可利用合成气中一氧化碳和二氧化碳的化能自养型细菌，主要为梭菌属、醋酸杆菌属和穆尔氏菌属。与现有的工业化生产乙醇大多采用纤维素或粮食发酵的工艺相比，以工业尾气为原料生产乙醇的碳转化率可以达到 88%，能量转化率达到 58%，不仅节约大量粮食，还可以实现连续发酵生产，降低了产品成本。当前，已有少数企业成功将合成生物技术与碳捕获、利用与封存（CCUS）有机结合，将含碳的工业尾气直接转化为乙醇、微生物蛋白等高价值产品，并开始小规模生产。我国已有几家企业以二氧化碳为原料/或以蓝藻为新底盘生物转化相关高值产品。如光玥生物、中科翎碳、肆芄科技等

图 12：合成气体发酵示意图



资料来源：DT 新材料，招商银行研究院

（二）工具：分散化创新，未形成较为成熟的产业化形态

工具层主要围绕设计—构建—测试—学习（DBTL）展开，目前仍处于分散化创新阶段，尚未形成成熟的产业化形态。其中设计环节，目前主要是数据库工具以及 DNA 测序。在数据库和工具上，国内企业高度依赖海外数据库及工具进行相关分析和设计，而国际常用数据库 KEGG 等已较为普及，实现将基因组、化学、系统功能等多维信息的整合。DNA 测序环节中外差距较小，基本实现同步发展，其中大中华的数据产出速率、有效 reads 等指标与海外领先企业相当，关键零部件和上游技术进一步国产化持续推进中，三代测序技术国内生物技术公司跟进型研发起步较晚，相关测序仪过去几年陆续问世。

构建环节目前主要是 DNA 合成与基因编辑。DNA 合成技术对稳定性和成本的要求较高，目前在 DNA 合成的拼接环节包括酶切连接、Gibson 连接、酵母同源重组等技术中外无代差。DNA 合成整体仍有差距，目前美国公司 Twist 已经建立了高通量、低成本的硅基 DNA 合成平台，可以大量合成高质量的 DNA，国内仍需攻克合成长链 DNA 及合成成本高等问题。基因编辑技术价值体现在广阔的专利布局，目前国内技术还未成熟运用，国内整体在基因编辑领域专利布局较弱。未来在基因编辑上攻克专利、精确性问题和效率问题。

在测试环节，国内以自动化机械辅助的人工测试为主，中外当前差距较大。美国合成生物学巨头 Ginkgo Bioworks 已将 EncapS 液滴微流控平台投入商业应用，实现百万级别的菌株筛选。未来微流控芯片技术的进一步推广需要解决大规模生产的成本问题及控制平台小型化问题，同时进一步提升通量。

在学习环节，目前国内外均处于发展初期，依赖人工经验总结及学习。其中，数据分析、蛋白质结构功能预及设计等尚未实现智能化，但海外在预测算法准确度、数据积累、不依赖注释预测算法等领域领先；路线设计、仿真测试



等合成生物学领域特有需求的 AI 技术开发，受限于数据集样本规模，全球均未起步，距离成型工具的出现还有很长的路要走。

表 4：合成生物学工具层概况

	关键技术	发展阶段	代表性公司
设计	数据库和工具	国际常用数据库 KEGG 等已较为普及，将基因组、化学、系统功能等信息进行整合，国内企业尚依赖海外数据库及工具进行分析和设计	KEGG, UniProt
	DNA 测序	在设计环节，二代测序技术目前中外同步，华大智造的数据产出速率、有效 reads 等指标与海外领先企业相当，关键零部件和上游技术进一步国产化持续推进中；三代测序技术国内生物技术公司跟进型研发起步较晚，相关测序仪过去几年陆续问世	PacBio, Oxford Nanopore 华大智造，真迈生物；
构建	DNA 合成	二代芯片技术正在逐步突破片段长度，国内企业金斯瑞后来居上，在高通量合成上具有优势；三代酶促合成技术，包括体外和体内两大思路，全球尚处早期	TWiSt Bioscience, CustomArray, 金斯瑞
	基因编辑	中国自主开发出基于 Cas13 的基因编辑技术，突破 CRISPR/Cas9 专利封锁，但商业化进展仍处于早期	Editas Medicine, 辉大基因
测试	高通量、自动化平台测试及筛选	国内当前以自动化机械辅助的人工测试为主，美国合成生物学巨头 GinkgoBioworks 将 EncapS 液滴微流控平台投入商业应用，实现百万级别的菌株筛选	Ginkgo Bioworks, Codex DNA
学习	AI 赋能数据分析、蛋白质设计、路线设计、仿真测试等	国内外尚处发展初期，依赖人工经验总结及学习。其中，数据分析、蛋白质结构预测及设计等尚未实现智能化，但海外在预测算法准确度、数据积累、不依赖注释预测算法等领域领先；在路线设计、仿真测试等合成生物学领域特有需求的技术开发，全球均未突破	DeepMind, AlphaFold

资料来源：BCG 咨询，招商银行研究院

（三）技术平台：仍存在与下游脱节问题，部分技术平台层企业转型应用开发型

技术平台层主要分为细胞铸造厂、无细胞合成平台以及酶工程平台等，目前仍存在与下游脱节问题，部分技术平台型企业转型应用开发型企业。海外领先合成生物平台型企业如 Ginkgo Bioworks，主要通过 AI、大数据、自动化实验平台为各行各业的用户提供合成生物学产品和服务，2023 年，Ginkgo 营收同比下滑 47%，由 4.78 亿美元下降至 2.51 亿美元，全年亏损近 9 亿美元。从 Ginkgo 公司的业绩表现可以看出，即使是在生物学发达的美国，合成生物学所需的相关服务也并非需求膨胀，平台型企业并没达到规模经济。同时合成生物学领域的技术服务存在交付周期长、交付成功率低、服务价格高等问题。整体该领域企业数量相对较少，导致业务量不大，不足以支撑平台型公司的商业模式。目前，由高校科学家经多年研究后的成果转化更具商业价值，很多单一品种都均通过高校孵化模式。国内的平台赋能型企业尚处商业模式的早期阶段，仅在工业酶开发上与海外差距相对较小。

目前，国内酶制剂企业主要生产淀粉酶、糖化酶等传统酶制剂。在传统酶制剂领域，供给上已呈现同质化严重、技术含量较低、市场竞争激烈、产能过剩的现象。随着技术水平的不断提高，部分技术领先的国内酶制剂企业逐步打破跨国企业拥有的新菌种、新基因等核心技术壁垒。当前，国内酶制剂企业与世界领先的诺维信、杜邦、帝斯曼等公司在规模表达系统的开发及保护、蛋白质工程改造、发酵工艺等方面仍有差距。

表 5：合成生物学中游转化平台概况

	业务范畴	发展现状	代表性公司
细胞铸造厂	以客户指定产品为目标，基于专有菌株库、细胞构建和高通量测试能力，设计目标产物的高效合成路径，以及放大生产工艺	外强中弱，海外头部企业的高通量筛选测试平台已较成熟，具备平行开展数十个项目开发的能力 中国企业布局相对较晚，在菌株库、元件库、自动化/高通量体系等关键领域较为落后	BoltThreads; Ginkgo Bioworks; 衍进科技; 恩和生物
无细胞合成平台	以客户指定产品为目标，基于体外合成体系设计能力（含氨酰-tRNA 合成酶、核糖体、延伸因子、转录起始因子等），设计和优化目标产物的体外高效合成路	外强中弱，海外已参与到肺炎球菌疫苗、ADC 等商业化产品开发生产，中国企业近期刚刚完成技术突破，商业化进程相对较慢	NTXpress; 康码科技等
酶工程平台	以自然界存在的酶促反应路径为基础，优化酶的底物谱、催化效率和生产工艺等，实现低成本的工业用酶生产	中外接近，酶工程平台发展较早，中外差距相对较小，但中国企业在创新和工艺上仍有提升空间	诺维信; 溢多利

资料来源：BCG 咨询，招商银行研究院

（四）应用：从“替代”到“颠覆”，重点关注医药、化工、食品农业以及能源等领域选品与突破

合成生物从应用角度分析，重点关注医药、化工材料、消费品领域、农业食品以及能源等领域。合成生物在**医药领域应用**主要包括医药化工以及创新疗法领域，医药化工领域主要为绿色以及低成本替代，创新疗法仍需要关注技术与市场匹配性。**化工材料领域**性能与成本平衡是商业化成功的关键，目前对菌种进行基因改造的技术已相对成熟，经过特定基因编辑后的大肠杆菌和谷氨酸棒状菌已广泛用于 PHA、PHB、PLA、戊二胺、丁二酸等化学制品的生产。**消费品领域**聚焦高附加值产品，胶原蛋白、玻尿酸等重磅品种已经率先落地，个护是从石油基转变到生物基原料的重要行业之一，目前生物基产品占到整个行业的 40% 左右，其中以胶原蛋白和多肽类原料为代表的生物活性成分的开发和应用带动了中国功能性护肤品市场的快速增长。**农业领域**：技术壁垒较高，国内整体仍处于商业化初期。目前合成生物在农业领域应用主要集中在育种、化肥、农药以及光自养平台，在育种领域率先开启商业化。**食品工业领域**：在监管中需求突破，是待培育的广阔市场，当前处于科研向商业化转化阶段。**生物能源**：生物燃料目前开发成本较高，实现规模下的成本优势是商业化成功关键。从 2023 年全球生物燃料结构分析，美国是全球第一大生物天然气和生物燃料乙醇生产国，欧盟是全球第一大生物柴油生产地区，可再生甲醇和可持续航空燃料各国仍处于起步阶段，当前单位热值成本仍远高于化石燃料，未来在碳源升级以及技术升级基础上，有望逐步降低成本。

从发展阶段以及发展前景角度分析，目前合成生物制造正处于**创新成长期**。结合 BCG 咨询、麦肯锡以及易凯资本等多家机构分析预测，现阶段合成生物在医药、化工材料、生物农业已完成部分突破，已初步形成产业化趋势，市场规模居前。在生物能源以及食品工业领域仍需持续突破，目前正处于商业化转化初期，仍需突破规模下的成本优势。

1、医药医疗：原料药主要为环保与低成本替代，创新疗法仍需关注技术与市场匹配性

精细与医药化工产业已进入成熟期。目前，我国已经成为全球最大的精细与医药化学品供应国。随着合成生物学的发展，通过对细胞内代谢途径的全新设计，使精细与医药化学品可以通过微生物细胞以廉价的糖类等为原料来合成，为降低精细与医药化学品的生产成本，实现绿色生产提供可能。如肌醇、芳香族化合物、抗生素以及甾体激素等。



表 6：医药化工领域合成生物应用概况

产品类型	主要内容
肌醇	重要的精细化学品，广泛应用于饲料、医药、食品等行业。通过四种酶构建了新一代肌醇生物合成路线，且无需额外添加 ATP 或 NAD ⁺ ，得率可达 98.9%±1.8%（质量分数），在国际上实现了规模化利用多酶分子机器催化淀粉生产肌醇的工艺路线，相比传统的植酸酸解生产工艺，磷酸污染降低 90%，成本降低 50%。
芳香族化合物	芳香族化合物既是重要的精细化学品，也是化学原料药的重要组成部分，如香草醛（食品香料）、苯甲酸（食品防腐剂）、对乙酰氨基酚（抗感冒药物）、乙酰水杨酸（抗凝药物）、左旋多巴（治疗帕金森病药物）等都是重要的芳香族化合物。目前这些芳香族化合物主要通过高污染、高能耗的苯基化学合成或植物提取获得，具有不可持续性。通过构建高效生物催化剂和新菌种，创建绿色生物合成工艺，有望大幅减少能耗、物耗和污染物排放，实现绿色低碳、可持续的发展模式。
甾体激素	目前甾体激素化合物的生产制造主要以化学合成为主、生物转化为辅。化学合成不仅严重依赖需要大量土地种植获取的植物资源，而且生产过程排放大量有机废物，对生态环境造成严重污染。基于合成生物学的原理，设计和改造微生物菌种来发酵生产能有效解除原料限制，提升现有生产工艺中生物催化剂（转化菌种或酶）性能，克服产物精制分离新技术的应用等瓶颈。近年来，重要甾体化合物的生源合成途径被依次解析，胆固醇、薯蓣皂素和氢化可的松的全生物合成连续实现。
抗生素	早期主要靠随机诱变来提升生产水平，但是近年来利用代谢工程、合成生物学还在持续不断地改造菌种，提升生物制造水平。放线菌是生产抗生素的重要菌种，通过多组学解析与基因组水平代谢模型计算、前体物供给的理性设计、调控基因与元件改造解除反馈抑制、抗性基因过表达等合成生物学技术，有效地提升了放线菌生产红霉素、阿维菌素、阿霉素、泰乐菌素等一大批抗生素的生产制造水平

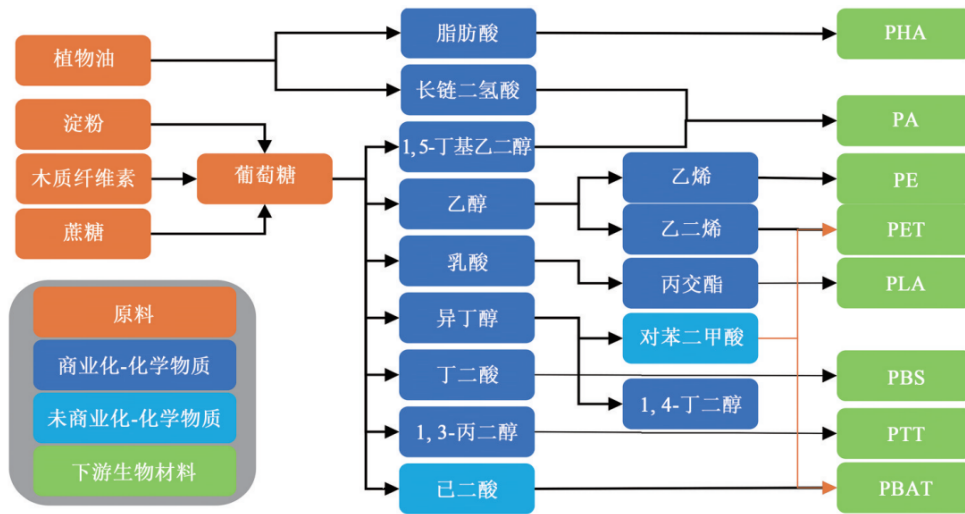
资料来源：合成生物学期刊，招商银行研究院

*以上为不完全列举

合成生物在创新疗法上应用广阔，技术壁垒高，验证周期长。涉及细胞免疫疗法、RNA 药物、微生态疗法以及基因编辑相关应用等多方面。目前此类治疗性药物仍需要分析技术与市场匹配性，部分技术如基因编辑仍存在效率与安全性问题，同时部分开发药物价格高昂，需匹配合适的市场，仍存在扩大可及性的空间。

2、化工材料：性能与成本平衡是商业化成功关键因素

石油作为绝大多数化工材料的终端原材料，一方面正在面临资源枯竭的问题，另一方面，由能源化工生产或者石油作为燃料带来的环境污染问题也越加突出。传统石化工艺技术突破和技术革新面临着极大的瓶颈。天然生物的种类和多样性远远超过传统石化材料，因此，化工材料领域合成生物学是一个创新且可行的解决方案。合成生物学在化工领域的应用主要包含材料、化学品、化工用酶、油类和润滑剂等多方面。如利用改造后的酵母或其他微生物生产化学品和材料，通过定向进化结合高通量筛选寻找在高温高酸等特殊场景拥有高活性的酶等。当前，对菌种进行基因改造的技术已相对成熟，经过特定基因编辑后的大肠杆菌和谷氨酸棒状菌已广泛用于 PHA、PHB、PLA、戊二胺、丁二酸等化学制品的生产。

图 13：生物基化学产品概况

注:PHA—聚羟基脂肪酸酯,PA—聚酰胺,PE—聚乙烯,PET—聚对苯二甲酸乙二醇酯,PLA—聚乳酸,PBS—聚丁二酸丁二醇酯,PTT—聚对苯二甲酸丙二醇酯,PBAT—聚丁二酸/对苯二甲酸乙二醇酯。

资料来源：《生物技术进展》，招商银行研究院

合成生物在化工材料领域从实验室到真正产业化仍面临着大量学科交叉的生物制造问题与挑战。目前，国际上具有代表性的新材料合成生物学项目包括：杜邦以生物发酵法制造 1, 3-丙二醇项目、Metabolix 和 UPM 集团从纤维素糖生产 1, 2-丙二醇项目、Nature Works 可降解塑料聚乳酸项目、森瑞斯以合成生物技术为基础开发工业大麻和新材料橡胶的生产中试及其产业化项目等。但是以上部分项目工业化进展均面临不同程度的挑战，如成本高、竞争力差等。因此性能和成本兼顾是商业化应用的必要条件。但整体上来看，生物合成材料已开始迈入产业化阶段，越来越多的投资者和从业者开始关注新材料合成生物学领域，并且已经在这个领域进行了大量的投资和探索。尤其是国外的一些跨国企业已经在 1, 3-丙二醇等材料实现了合成生物材料的商业突破，而中国在新材料合成生物领域拥有专利技术和最终产品的公司数量仍然较少。但以华恒生物、凯赛生物为代表的中国企业已经在某些细分市场中获得了技术的突破或拥有独到的产品，逐步成长为世界领先的合成生物科技企业之一。



表 7：合成生物在化工材料领域应用

类型	细分类型	发展现状	应用举例
新型聚合材料	有天然微生物代谢途径合成的聚合材料	部分品种实现商业化，例如部分细菌的聚酯分泌物性质类似于热塑性塑料，在生产成本与传统方法接近的情况下，可凭借低碳排获得商业化优势	以 PHA 为代表，进入商业化阶段的 PHA 共有 4 种：PHB、PHBH、P34HB、PHBV
	无天然微生物代谢途径合成的聚合材料	部分品种两步法合成商业化已跑通（即通过合成生物学生产聚合物中间体，再化学聚合），但成本相比传统酵母发酵优势不明显	国内外均实现商业化生产：PA（尼龙）、TPU 仅国外实现商业化生产：PE、PLA
高性能蛋白	纤维材料类，具备强机械性能和/或生物相容性	整体处于实验室毫克级研究阶段，考虑其优异机械性能，预计将在航空航天、特种服饰领域前景广泛	蜘蛛丝蛋白、蚕丝蛋白等
	生物活性材料，具备其他特殊属性，如去污、抗菌等	复杂蛋白质结构设计技术尚未突破，短期内无法替代传统工艺产品	黏附蛋白（如藤壶蛋白）、抗菌蛋白等
大宗化学品	合成生物学可合成的大宗化学品仅几十种，在整体基础化学品中的占比还非常有限，未来提升空间巨大，大宗化学品合成生物学法降本明显（约 20%-40%），因此一旦技术取得突破，往往由龙头企业迅速抢占大量市场份额	合成生物学基本实现替代：乙醇、丙二醇等； 合成生物学逐步产业化/取得成本优势：乙二酸、丁二酸、1,4 丁二醇、乳酸等； 技术已突破，产业化在即：3-羟基丙酸、丙烯酸等。	华恒生物：丙氨酸市场全球占有率超过 50%； 凯赛生物：长链二元酸全球占有率超过 80%； Amyris：垄断全球法尼烯，且甜菊糖市场占有率超过 30%

资料来源：BCG 咨询，招商银行研究院

3、消费品领域：聚焦高附加值产品，胶原蛋白、玻尿酸等重磅品种率先落地

合成生物在消费领域目前代表性领域主要是个护行业，专注于高价值低成本产品。通过改造微生物来生产香料、保湿剂和活性成分等用于护肤品。根据禾大发布的报告《生物科技在个护行业的应用》，个护是从石油基转变到生物基原料的重要行业之一，目前生物基产品占到整个行业的 40% 左右，其中以胶原蛋白和多肽类原料为代表的生物活性成分的开发和应用带动了中国功能性护肤品市场的快速增长。在个护领域，合成生物学主要开发思路为针对高价值的产品如胶原蛋白等，开发全新生产路线。其中以传统动/植物提取物为典型代表，因目标分子清晰、商业化潜力明确，是目前合成生物在消费个护领域开发的主要方向。开发全新路线，聚焦环保主题也是重要方向。

表 8：合成生物在消费个护领域应用

类型	合成生物开发优势	代表性产品
合成生物路线开发高价值产品	传统路线较贵，使用合成生物可有效降本；传统方法获取困难，原料稀缺，使用合成生物学可显著放量；全世界产能高度集中，有产能替代的可能性	动/植物提取物：如玻尿酸、视黄醇、角鲨烯、胶原蛋白等 化学合成：如烟酰胺、麦角硫因等
合成生物聚焦环保路线	主要针对使用过程中或生产过程对环境有潜在伤害的原辅料	天然防晒剂：如类菌孢素氨基酸类（MAAs）分子，shinorine、porphyrin-334 等
合成生物聚焦全新原料	如环境友好防晒剂、更强的功效产品等，但难度大	目前仍处于早期，缺乏明确路线

资料来源：BCG 咨询，锦波生物官网，华熙生物官网，招商银行研究院

4、农业：技术壁垒较高，国内整体仍处于商业化初期

根据联合国粮农组织发布的 2022《世界粮食安全和营养状况》报告，2021 年，全世界约有 23 亿人（占全球人口的 29.3%）面临中度或重度的粮食不安全状况。据联合国预测，到 2050 年，世界人口预计达到 97 亿，人口数量的增加及生活水平的提升，对农产品的需求随之上升，带来如何提升农业生产效率和农业生产质量这一重大命题。合成生物学技术赋能农业科学，有望突破资源和极端气候变化等农业发展的瓶颈，人类有望按照自身需求设计农业生物、创制新型高效的农作物品种。

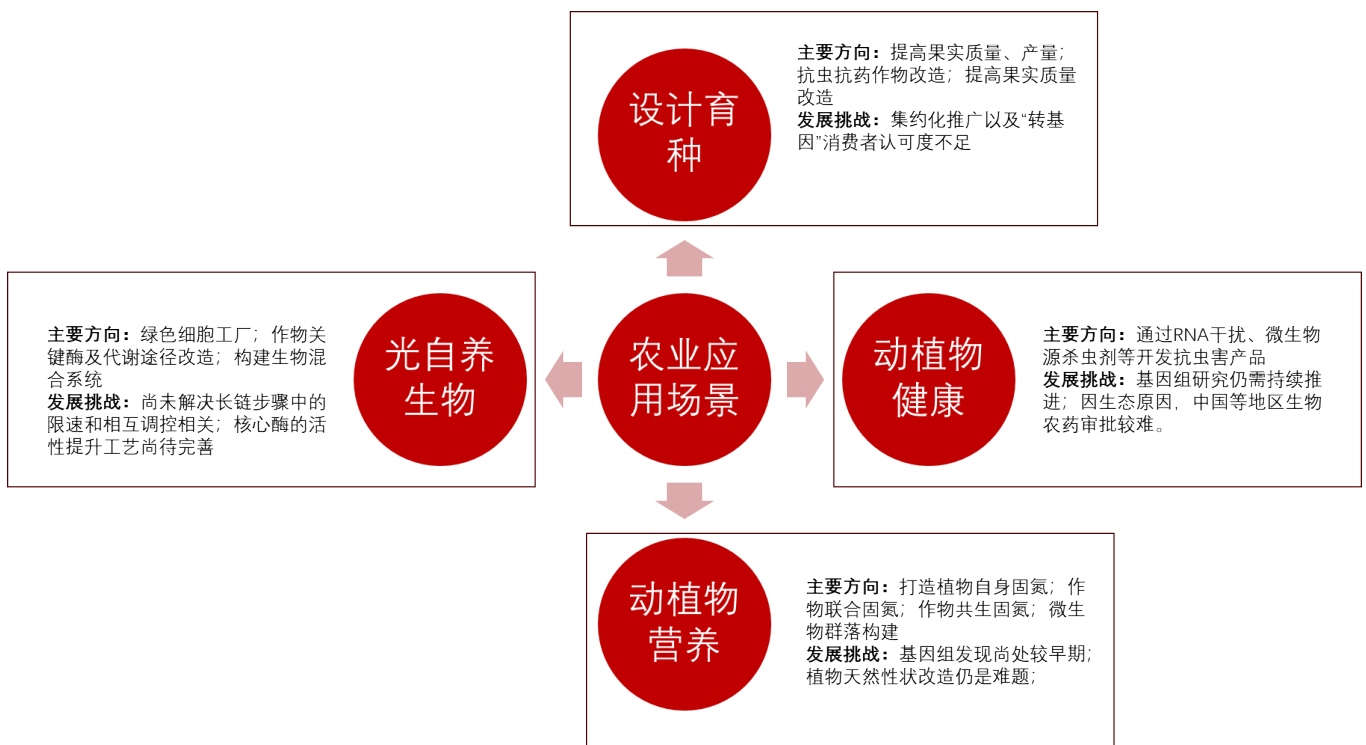
合成生物学在农业中的应用，体现其在作物改良中改变代谢途径、遗传回路和植物结构上的潜力。同时，合成生物学的工程微生物，也在生物施肥、生物刺激和生物防治等可持续农业中发挥着重要作用。目前合成生物在农业领域应用主要集中在育种、化肥、农药以及光自养平台。

其中合成生物在育种方向能够助力培育更强大、更高产的作物。传统的育种方法通常耗时长、效率低，难以应对不断变化的环境和病虫害威胁。合成生物学通过基因编辑技术，为育种提供了更快速和精确的手段。科学家能够精确修改作物的基因，使其具备抗病、抗虫、耐旱、耐盐碱等特性，从而显著提高农作物的产量和稳定性。在植物营养领域，合成生物能够助力开发环境友好的生物肥料。传统化肥的使用虽然显著提高了农业生产力，但也带来了土壤退化、水体富营养化等环境问题。合成生物学提供了一种可持续的替代方案，通过改造微生物，使其能够合成和释放植物所需的营养物质，从而开发出新型的生物肥料。在植物健康领域，合成生物能够助力生物农药的开发。通过基因工程技术，科学家能够开发出对环境和人类更加安全的生物农药。这些生物农药通常

是由经过改造的微生物或植物自身产生的天然抗虫物质，从而减少了化学农药的使用量和对环境的破坏。光自养平台是合成生物学在农业中的一项创新应用，旨在通过优化植物的光合作用机制，使其能够更高效地利用太阳能进行生长。合成生物学家通过基因编辑和合成路径的设计，提升植物对光能的捕获和转换效率，从而增加作物的生物质产量。

目前合成生物在农业领域应用仍需要面对市场、监管、资金以及技术方面的挑战。市场方向，转基因作物部分消费者认可不足，生物肥料以及农药等应用仍目前审批时间较长，监管整体较为严格。技术方向，目前在植物天然性状等领域仍存在瓶颈，仍需持续推进。

图 14：合成生物在农业领域应用



资料来源：BCG 咨询，招商银行研究院

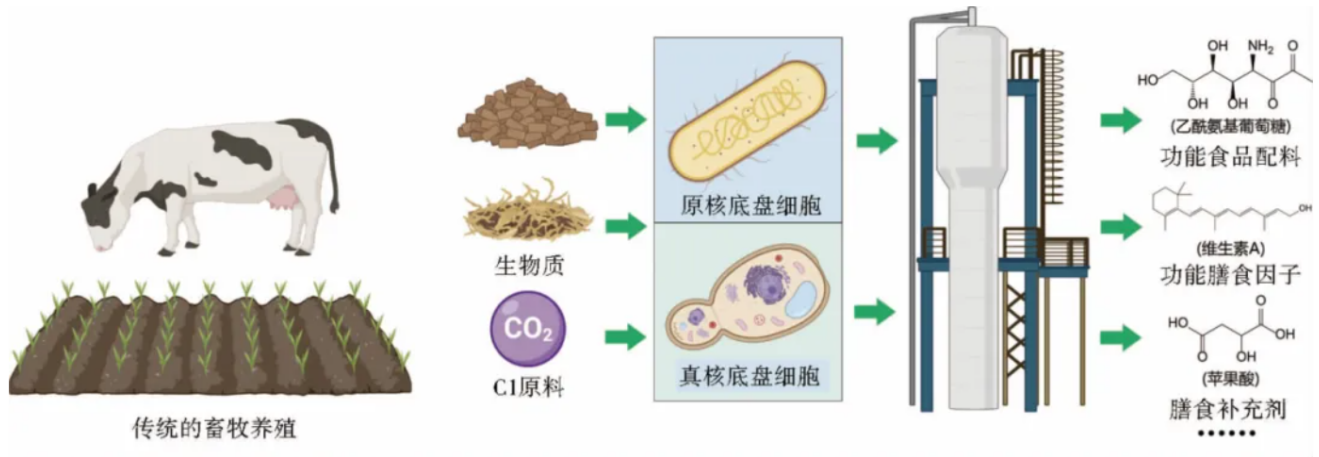
5、食品工业：待培育的广阔市场，当前处于科研向商业化转化阶段

食品工业是我国的支柱产业，2022 年全国食品工业的营业收入达到 97991.9 亿元，年增长 5.6%，利润总额占全国工业的 8.1%，是我国经济发展的主要驱动力之一。随着人口增长、环境污染、气候变化等问题的日益突出，亟需对传统的食品制造工艺进行转型升级。合成生物学的发展为食品制造工艺的变革提供了技术支持。合成生物学能够通过构建细胞工厂将可再生原料转化为重要的食品配料与组分，实现食品的绿色、高效、可持续生物制造。

食品生物制造是实现大食物观的重要途径，利用可再生原料，通过微生物细胞工厂合成食品原料或组分，是一种重要的食品绿色低碳制造模式。利用合成生物学技术，可以设计、构建出能够高效合成特定食品原料或组分的细胞工

厂，降低环境资源的利用，提高物质转化能量传递效率，保障食品的高质量供给，改良食品的营养与风味，从而推动未来食品工业的高质量可持续发展。

图 15：基于合成生物学的未来食品制造



资料来源：《中国生物工程杂志》，招商银行研究院

近年来，合成生物学技术已被用于生产多种食品配料与组分，相对于传统的生产工艺，其特征与优势主要体现在以下三个方面：**第一，变革了传统的食品制造方式**，将食品的制造模式从种植养殖模式转变为车间制作模式；**第二，助力了食品的低碳制造**。传统的食品生产方式排放了全球约 25% 的温室气体。随着合成生物学技术的发展，生物制造可以将生物质、C1 原料等可再生资源转化为蛋白、淀粉、脂肪酸等食品，既能减排，又能固碳。相对于传统的养殖法生产乳蛋白，发酵法生产乳蛋白能够每年减少 56% 的 CO₂ 排放和 87% 的土地占用面积。**第三，强化了食品的生产过程**。据联合国统计，世界人口将在 2050 年增长至 96 亿，从而导致全球食品的需求量将增加 50%~80%。此外，随着生活质量的显著提升，消费者对优质蛋白、肉等食品的需求逐步增加。生产替代蛋白是解决肉类资源紧缺的有效途径之一。

整体看合成生物技术为未来食品绿色、可持续、高效的制造提供了技术支持。现阶段合成生物在食品领域仍处于发展初期阶段，一方面面临技术研发能力不足、重大共性关键核心技术突破不多、核心工业菌种知识产权风险高等问题，另一方面基于合成生物学的未来食品生产工艺与传统的食品制造工艺存在显著差异，急需建立新的质量检测指标和质量控制标准。目前，国外已经审批通过了多种基于合成生物学的未来食品，而我国的进度则相对缓慢，存在国内市场被抢占的风险。合成生物在食品领域应用广阔，目前仍处于发展初级阶段，需要建立新的标准体系。



表 9：合成生物在食品工业领域应用优势与挑战

优势	应用场景及举例	开发现状与挑战
变革食品制造方式 ✓	将食品的制造模式从种植养殖模式转变为车间制作模式； ✓ 例如：乳寡糖 2'-岩藻糖基乳糖的生物合成高效制备	✓ 底层选品逻辑：市场空间以及上量节奏； ✓ 开发现状：仍存在技术研发能力不足、重大共性关键核心技术突破不多、基础研究对产业贡献少、核心工业菌种知识产权风险高等问题；
助力食品的低碳制造 ✓	生物制造可以将生物质、C1 原料等可再生资源转化为蛋白、淀粉、脂肪酸等食品，既能减排，又能固碳； ✓ 例如：相对于传统的养殖法生产乳蛋白，发酵法生产乳蛋白能够每年减少 56% 的 CO2 排放和 87% 的土地占用面积	监管层面：我国审批和监管仍严格，但壁垒逐步被打破，产品正逐步走向合规化
强化了食品的生产过程 ✓	据联合国统计，世界人口将在 2050 年增长至 96 亿，从而导致全球食品的需求量将增加 50%~80%。此外，随着生活质量的显著提升，消费者对优质蛋白、肉等食品的需求逐步增加。生产替代蛋白是解决肉类资源紧缺的有效途径之一； ✓ 人造肉的生物制造，相比畜牧养殖，细胞生产蛋白质的碳水化合物转化率可以达到 50%~60%，畜牧法生产猪肉和牛肉的能量与蛋白转化率仅为 9% 和 3%	

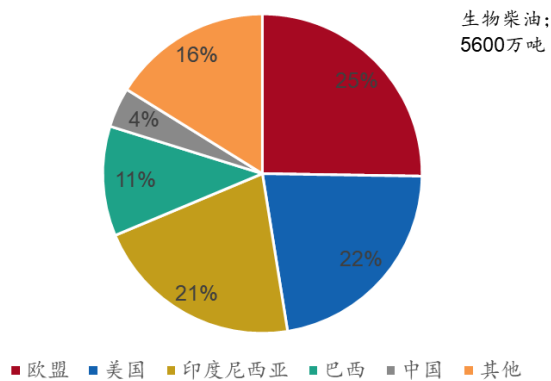
资料来源：《中国生物工程杂志》，招商银行研究院

6、生物能源：生物燃料目前开发成本较高，实现规模下的成本优势是商业化成功关键

合成生物学主要通过优化碳源（如用纤维素代替粮食作物）、探索新生物能源形式这两个方面作用于生物能源产业发展。生物燃料目前开发成本较高，实现规模下的成本优势是商业化成功关键，一旦单位热值成本与化石燃料持平，其可再生特性将带动行业快速成长。如纤维素乙醇、生物柴油、劣质蛋白生产沼气等可实现碳源优化，而生物脂肪烃、生物氢、生物电等可作为新生物能源。LanzaTech 是全球第一家上市的合成生物学能源企业，已经实现基于固废循环使用合碳捕捉技术的低成本液态生物燃料制备，同时工业废气制造航天燃油和柴油技术正在研发中。从 2023 年全球生物燃料结构分析，美国是全球第一大生物天然气和生物燃料乙醇生产国，欧盟是全球第一大生物柴油生产地区，可再生甲醇和可持续航空燃料各国仍处于起步阶段，当前单位热值成本仍远高于化石燃料，未来在碳源升级以及技术升级基础上，有望逐步降低成本。

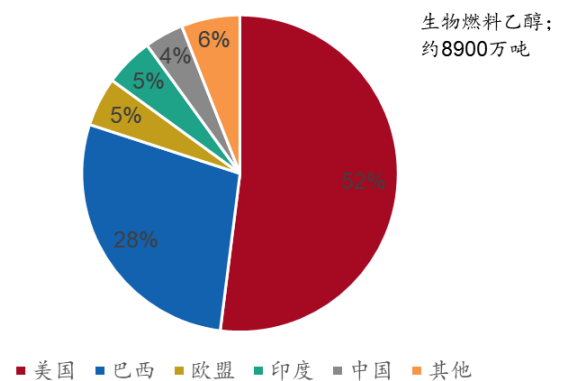


图 16: 2023 年生物柴油全球产量结构



资料来源:《2024 中国先进生物燃料发展展望》, 招商银行研究院

图 17: 2023 年生物燃料乙醇产量结构



资料来源:《2024 中国先进生物燃料发展展望》, 招商银行研究院

根据《2024 中国先进生物燃料发展展望》分析, 可再生甲醇与可持续航空燃料未来将逐步迎来商业化生产阶段, 2030 年估计分别为 700 万吨与 357 万吨。以生物航煤为例, 当前限制可持续航空燃料的发展主要核心因素为原料供应、技术成熟度、成本考量。首先, 原料供应是制约生物航煤规模化生产的核心要素。生物航煤主要依赖生物质资源, 如废弃油脂、农作物秸秆等, 这些生物质资源的可利用性直接受到地域分布、季节性变化以及产量限制等多重因素的影响。其次, 技术成熟度是决定绿色航煤技术能否广泛应用的关键。尽管近年来绿色航煤技术已经取得了一些进展, 但仍有许多技术尚处于研究和开发阶段, 尚未实现工业化应用。再者, 成本问题是影响绿色航煤技术市场竞争力的主要因素。绿色航煤技术的研发和应用需要投入大量的人力、物力和财力, 这使得其生产成本相对较高。在当前的市场环境下, 高昂的生产成本可能使得绿色航煤难以与传统航煤进行竞争。为了降低生产成本, 可以从原料利用、能源效率提升、生产过程优化、废弃物循环利用等方面着手, 实现绿色航煤技术的经济可行性。



表 10：生物燃料技术路径及发展现状

燃料种类	原料	技术	产品	发展阶段	2023 年产量	2030E 需求量
生物天然气	农作物秸秆、畜禽粪污、餐厨垃圾、工业有机废水	厌氧发酵	生物天然气		4.2 亿立方米	100 亿立方米
生物乙醇燃料	第一代：玉米、小麦等	发酵	粮食乙醇	处于一代到二代过渡阶段	340 万吨	380 万吨
	第二代：秸秆类木质纤维素	水解、发酵	纤维素乙醇			
生物柴油	植物油、动物油、废弃油脂	第一代：酯交换法	酯基生物柴油	由第一代向第二代转变	220 万吨	150 万吨
		第二代：加氢脱氧法	烃基生物柴油			
可再生甲醇	生物质	热解气化 沼气双重整	生物甲醇	规划/备案/建设阶段		700 万吨
	绿氢、可再生二氧化碳	催化合成	电制甲醇			
可持续航空燃料	植物油、动物油、废弃油脂	脂类和脂肪酸类加氢(HEFA)	可持续航空燃料	试生产		357 万吨
	生物质	费托合成 (G+FT)				
		醇喷合成 (AtJ)				
	绿氢、二氧化碳	电转液 (PtL)				

资料来源：《2024 中国先进生物燃料发展展望》，招商银行研究院



四、业务机会及风险提示

（本部分有删减，招商银行各行部请联系研究院，或登录“招银智库”查阅）。

免责声明

本报告仅供招商银行股份有限公司（以下简称“本公司”）及其关联机构的特定客户和其他专业人士使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。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并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本公司可能采取与报告中建议及/或观点不一致的立场或投资决定。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经招商银行书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“招商银行研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

未经招商银行事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

招商银行版权所有，保留一切权利。

招商银行研究院

地址 深圳市福田区深南大道 7088 号招商银行大厦 16F（518040）

电话 0755-22699002

邮箱 zsyhyjy@cmbchina.com

传真 0755-83195085



更多资讯请关注招商银行研究微信公众号
或一事通信息总汇