



中信证券研究部

核心观点



李超
新材料行业首席
分析师
S1010520010001

合成生物学技术正快速向实用化、产业化方向发展，当前阶段合成生物学产业链上我们更看好产品类公司，其高估值本质是成长逻辑，建议遵循“低成本替代、高技术壁垒、开发新产品的潜力”三条主线去判断相关标的的成长确定性，重点推荐华恒生物、嘉必优，建议关注凯赛生物、川宁生物、金城医药、莱茵生物、利安隆、星湖科技。

■ **合成生物学是 21 世纪最值得关注的行业之一。**合成生物学是一门发展迅猛的前沿交叉学科，被广泛应用于各种产业，在推动科学革命的同时，合成生物学技术正快速向实用化、产业化方向发展。生物制造是合成生物学最先落地也是近年来最重要的应用场景，相比其他生产方式，生物制造的核心优势在于借助细胞工厂的高效代谢系统降低成本和减少排放；相比传统发酵，生物制造的关键在于定向、高效地设计和构建菌种。随着 DNA 合成、基因测序和基因编辑等基础技术及一系列不断扩展的技术的进步，合成生物学有望加速发展，生物制造或成为对标化工的庞大产业。

■ **应用领域分布广泛，合成生物学是万亿级赛道。**合成生物学技术应用涵盖平台开发、医疗健康、化工、农业和食品、消费品、能源等重点领域。根据 Markets and Markets 预测，2026 年全球合成生物学市场规模将达到 307 亿美元，对应 2021-2026 年 CAGR 为 26.5%。结合麦肯锡的预测，中长期（2030-2040 年）来看合成生物学每年带来的经济影响或超万亿美元。我们认为当前时点医疗健康和化工领域的产业化进度相对领先，整体上看合成生物学的产业化进度还处于初期，随着未来各环节技术的进步，下游各领域的发展前景和市场空间均非常广阔。

■ **行业料即将迎来加速发展，当前产品类公司更佳。**根据 SynbioBeta，全球合成生物学初创公司融资火热，2021 年融资额高达 180 亿美元，几乎相当于 2009-2020 年所有融资额的总和；各国政府高度重视合成生物学，相继出台多项支持政策，我国《“十四五”生物经济发展规划》明确将合成生物学列为重点发展方向。在资本市场和各国政策的孵化下，预计合成生物学行业即将迎来加速发展，上中游的技术和商业模式成熟尚需时日，下游产品类公司是产业链的核心盈利环节。我们尤其看好中国生物制造企业竞争力。

■ **风险因素：**下游需求不及预期；产能建设不及预期；行业竞争加剧；原材料价格波动；新产品研发进度或市场推广不及预期。

■ **投资策略：**我们认为中国生物制造产品类公司的高估值本质是成长逻辑，投资生物制造公司的核心在于判断其新产品能否实现低成本替代、能否形成壁垒，分析新产品和产能带来的成长确定性。重点推荐华恒生物（通过产学研结合+产业化能力打造多产品管线，新产品和产能落地的确定性较强）、嘉必优（新国标落地+帝斯曼专利到期打开国内外市场空间，募投项目投产短期放量确定性高，合成生物学新产品打开长期空间），建议关注凯赛生物（生物基聚酰胺是潜在空间高达千万吨级别的大体量产品，其已布局百万吨产能，静待市场推广取得突破后的快速增长）、川宁生物、金城医药、莱茵生物、利安隆、星湖科技。

新材料行业

评级

强于大市（维持）

重点公司盈利预测、估值及投资评级

简称	代码	收盘价	EPS				PE				评级
			21	22E	23E	24E	21	22E	23E	24E	
华恒生物	688639.SH	169.01	1.55	2.78	4.18	6.35	109	61	40	27	买入
嘉必优	688089.SH	49.78	1.07	0.99	1.40	1.71	47	50	36	29	买入
凯赛生物	688065.SH	65.32	1.04	1.26	1.66	2.22	63	52	39	29	买入

资料来源: Wind, 中信证券研究部预测

注: 股价为 2023 年 1 月 31 日收盘价

目录

投资聚焦	6
投资逻辑.....	6
风险因素.....	6
合成生物学是 21 世纪最值得关注的行业之一	7
合成生物学发展迅猛，生物制造前景广阔	7
底层技术不断进步，助力合成生物学释放潜力.....	10
应用领域分布广泛，合成生物学是万亿级赛道	14
当前产品类公司更佳，万亿级赛道如日方升	14
医疗健康：制药与治疗过程将更具经济性和高效性	16
化工：低成本+可持续，化工产品的制造将被重塑	18
农业和食品：更高效的农业生产和更绿色健康的食品	21
消费品：创造多元化的选择和更美好的生活	24
能源：生物燃料+生物制氢，帮助人类摆脱化石能源依赖	26
行业即将迎来加速发展，投资遵循三条主线	29
资本市场融资火热+各国支持政策频出，合成生物学即将迎来加速发展	29
看好中国生物制造企业竞争力，影响估值的核心因素是成长性	32
投资建议遵循“低成本替代+高技术壁垒+开发新产品的潜力”三条主线	37
重点公司分析	38
华恒生物：产学研结合+产业化能力打造多产品管线	38
嘉必优：新国标落地+帝斯曼专利到期，配方奶粉营养素龙头启航	41
凯赛生物：深耕聚酰胺产业链，百万吨产能蓄势待发	44
其他布局合成生物学的公司	46
风险因素	47

插图目录

图 1: 合成生物学发展历程和代表性进展	7
图 2: 合成生物学相关应用领域及产品	8
图 3: 生物制造示意图	8
图 4: 青草可以借助奶牛的代谢系统转化为牛奶	9
图 5: L-丙氨酸的两种生产方式	9
图 6: 生物制造和传统发酵对比	10
图 7: 基因测序成本	11
图 8: 基因测序速度	11
图 9: CRISPR-Cas 系统作用机制	11
图 10: 设计-构建-测试-学习 (DBTL) 过程	12
图 11: 微生物细胞工厂设计和构建策略效率以及性能对比	13
图 12: 合成生物学企业图谱	14
图 13: 全球合成生物学市场规模	15
图 14: 合成生物学在下游各领域的产业化进展情况	16
图 15: 全球医药 CDMO 市场规模及生物药占比	17
图 16: 中国医药 CDMO 市场规模及生物药占比	17
图 17: 全球和中国生物药市场规模预测	18
图 18: 2015-2022 年累计限制一次性塑料的国家和地区数目	19
图 19: 塑料包装成为快消品公司最关注的 ESG 议题	19
图 20: 2027 年全球生物基塑料产能预测	20
图 21: 全球 PHA 市场规模预测	20
图 22: 1961-2020 年全球人口和人均耕地面积变化	21
图 23: 2020 年全球微生物肥料需求分布	22
图 24: 全球微生物肥料市场规模预测	22
图 25: 每 100g 植物肉和牛肉中含有的物质	23
图 26: 消费者选择植物肉的原因	24
图 27: 全球植物肉市场规模预测	24
图 28: 母乳中的活性营养成分含量	25
图 29: 全球 HMOs 市场规模预测	25
图 30: 中国胶原蛋白产品市场规模预测	25
图 31: 中国重组胶原蛋白产品在主要下游市场的渗透率预测	25
图 32: 2021 年全球终端用油消费占比	26
图 33: 生物能源的温室气体减排效果	26
图 34: 2011-2021 年生物燃料消费量及占石油燃料消费量的比例	27
图 35: 部分欧洲国家规定的生物柴油掺混比例	27
图 36: 三代生物炼制的过程比较	27
图 37: 中国制氢来源	28
图 38: 不同制氢技术的成本估算	28
图 39: 全球合成生物学领域融资额	29
图 40: 2021 年全球合成生物学细分领域融资额占比	29
图 41: WOS 核心合集中以合成生物学为主题的论文发表数量	34
图 42: 2015 年和 2019 年中国生物发酵产品的产量和出口量	34
图 43: Ginkgo 的营业收入、净利润和经营活动净现金流	35

图 44: Amyris 的营业收入、净利润和经营活动净现金流.....	35
图 45: 凯赛生物的营业收入、净利润和经营活动净现金流.....	35
图 46: 华恒生物的营业收入、净利润和经营活动净现金流.....	35
图 47: Amyris 的历史股价.....	36
图 48: Ginkgo Bioworks 的历史股价.....	36
图 49: 合成生物学公司和传统发酵公司的估值对比.....	36
图 50: 合成生物学公司 PEG 和 CS 风格类别板块平均 PEG 对比.....	36
图 51: 生物制造的三大核心优势.....	37
图 52: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 华恒生物营业收入及增速.....	38
图 53: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 华恒生物归母净利润及增速.....	38
图 54: 全球丙氨酸市场需求及增速预测.....	39
图 55: 全球 L-缬氨酸市场需求及增速预测.....	39
图 56: 华恒生物多产品管线研发和落地模式.....	39
图 57: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 嘉必优营业收入及增速.....	41
图 58: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 嘉必优归母净利润及增速.....	41
图 59: 全球及中国 ARA 和藻油 DHA 市场规模及增速.....	42
图 60: 帝斯曼补偿款情况.....	43
图 61: 嘉必优 ARA 和藻油 DHA 产能情况.....	43
图 62: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 凯赛生物营业收入及增速.....	44
图 63: 2018 年至 2022 年 Q1-Q3 凯赛生物归母净利润及增速.....	44
图 64: 生物法癸二酸和裂解法癸二酸在生产中的碳原子利用率.....	45
图 65: 尼龙 5X 系列产品的应用场景.....	45

表格目录

表 1: DNA 合成技术.....	12
表 2: 生物革命在细分领域的具体案例和带来的经济影响.....	15
表 3: 化学品和材料下游行业领先企业的可持续承诺情况与经济影响.....	19
表 4: 各类生物可降解材料比较.....	20
表 5: 合成生物学在农业领域的应用.....	21
表 6: 2022 年部分融资额在亿元以上的国内融资事件统计.....	29
表 7: 全球合成生物学战略布局演进.....	31
表 8: 部分国外合成生物学企业.....	32
表 9: 部分国内合成生物学企业.....	33
表 10: 华恒生物产品管线梳理.....	40
表 11: 2010 年国标和新国标对比.....	42
表 12: 嘉必优主要储备在研产品.....	43
表 13: 凯赛生物主要产品的产能情况.....	46

■ 投资聚焦

投资逻辑

合成生物学被广泛应用于各种产业，在推动科学革命的同时，合成生物学技术正快速向实用化、产业化方向发展，生物制造是合成生物学最先落地也是近年来最重要的应用场景。在合成生物学产业链上，上中游的技术和商业模式成熟尚需时日，下游产品类公司是产业链上的核心盈利环节，从投资角度看，当前阶段产品类公司更佳。

资本市场融资火热+各国支持政策频出，合成生物学料即将迎来加速发展。我们认为中国生物制造产品类公司的高估值本质是成长逻辑，建议遵循三条主线去判断相关标的的成长确定性：

- 1) 能否通过低成本替代实现短期业绩兑现；
- 2) 能否依靠高技术壁垒保证中期竞争格局稳定性；
- 3) 能否发挥开发新产品的潜力打开长期成长空间。

重点推荐华恒生物（通过产学研结合+产业化能力打造多产品管线，新产品和产能落地的确定性较强）、嘉必优（新国标落地+帝斯曼专利到期打开国内外市场空间，募投项目投产短期放量确定性强，合成生物学新产品打开长期空间），建议关注凯赛生物（生物基聚酰胺是潜在空间高达千万吨级别的大体量产品，其已布局百万吨产能，静待市场推广取得突破后的快速增长）、川宁生物、金城医药、莱茵生物、利安隆、星湖科技。

风险因素

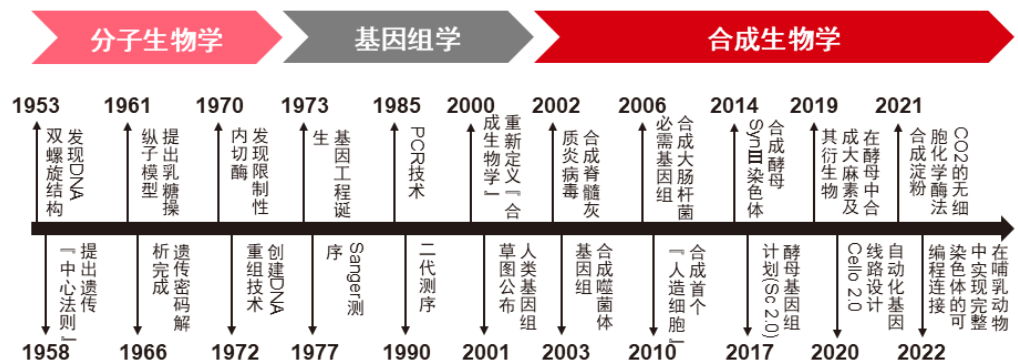
下游需求不及预期；产能建设不及预期；行业竞争加剧；原材料价格波动；新产品研发进度或市场推广不及预期。

合成生物学是 21 世纪最值得关注的行业之一

合成生物学发展迅猛，生物制造前景广阔

合成生物学是一门发展迅猛的前沿交叉学科。合成生物学（Synthetic biology）是一门汇集生物学、基因组学、工程学和信息学等多种学科的交叉学科，其实现的技术路径是运用系统生物学和工程学原理，以基因组和生化分子合成为基础，综合生物化学、生物物理和生物信息等技术，旨在设计、改造、重建生物分子、生物元件和生物分化过程，以构建具有生命活性的生物元件、系统以及人造细胞或生物体。1980 年，Barbara Hobom 开始使用“合成生物学”这一概念来表述基因重组技术，随着基因合成技术、基因测序技术等 20 世纪八十年代、九十年代不断成熟，对生命的研究进入了基因组时代，也为合成生物学的发展奠定了实质性的、全面的物质基础。合成生物学在进入 21 世纪后发展迅猛，2004 年美国 MIT 出版的《技术评论》就把合成生物学选为将改变世界的十大技术之一；2010 年合成生物学位列《Science》杂志评出的十大科学突破第 2 名和《Nature》杂志盘点的 12 件重大科学事件第 4 名；2013 年国际著名咨询机构麦肯锡公司将合成生物学评为能够引起人类生活以及全球经济发生革命性进展的颠覆性科技。

图 1：合成生物学发展历程和代表性进展



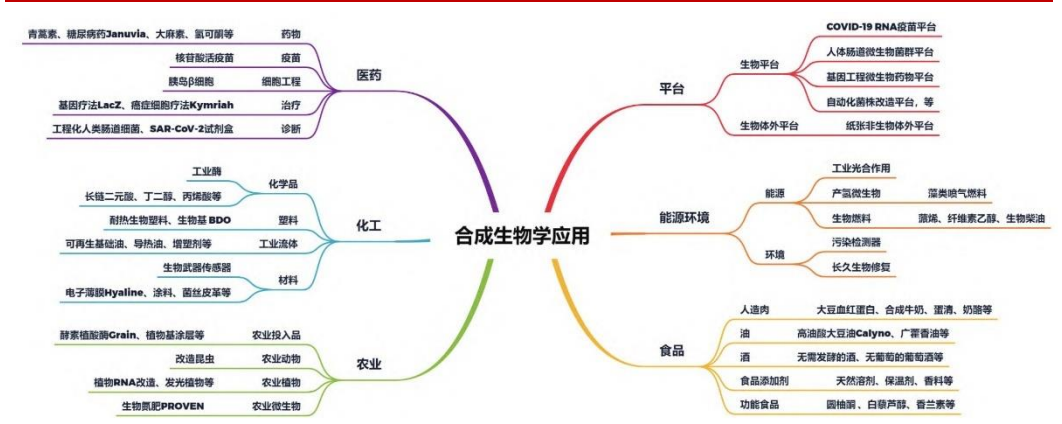
资料来源：《合成生物学的医学应用》（张强，顾明亮），Nature, Science, 中信证券研究部

合成生物学类似于计算机编程，改造生命体相当于编写新的“程序”。合成生物学借助生命体高效的代谢系统，通过基因编辑技术改造生命体以设计合成，使得在生物体内定向、高效组装物质和材料。我们认为，合成生物学类似于计算机编程，细胞是生命体的结构与生命活动的基本单位，而细胞代谢与基因表达密切相关，因此可以把基因组比作“造物主”编写的“程序”，生命体的活动按照该“程序”运作，而人类通过生物技术和基因技术的进步对基因的理解不断深化，直至能够自行通过基因编辑设计代谢途径，相当于对“造物主”的“程序”进行反向编译，在理解“编程语言”后自行编写能够实现特定目的的新“程序”。

生物制造是合成生物学的重要应用场景。合成生物学被广泛应用于各种产业，在推动科学革命的同时，合成生物学技术正快速向实用化、产业化方向发展。合成生物学技术应用涵盖平台开发、医药、化工、能源、食品和农业等重点领域，简单来看，合成生物学能

够改造的生命体包括动物、植物、微生物（细胞），但是动物和植物都是更加复杂的生命系统，以目前的技术手段难以实现理想的结果，因此通过改造微生物（细胞）来进行发酵生产（即生物制造）成为合成生物学最先落地也是近年来最重要的应用场景。

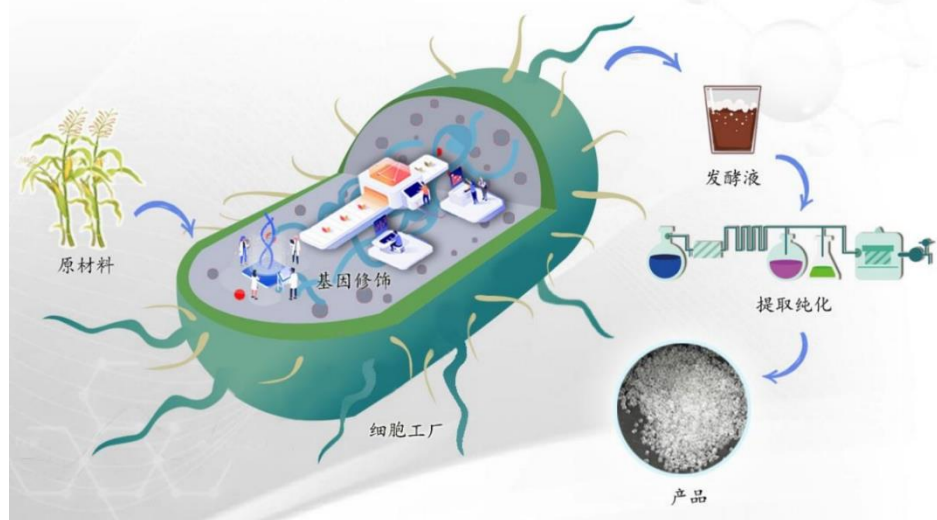
图 2：合成生物学相关应用领域及产品



资料来源：《全球合成生物学发展现状及对我国的启示》（王晓梅，杨小薇，李辉尚等）

生物制造有望成为对标化工的庞大产业。生物制造作为一种革命性的生产方式，以改造后生物体作为高效细胞微工厂，进行定向化、高效化、大规模化物质加工与转化，为社会发展提供工业商品。根据麦肯锡的数据，原则上全球经济物质投入中的 60%可由生物产生，加之其生产过程绿色、条件温和、原材料取得便利，未来发展空间非常广阔。生物制造具有高效、清洁、可再生等特点，是绿色、低碳、可持续发展的经济发展模式，在能源、化工等领域具有改变世界工业格局的潜力。根据白宫简报《拜登总统将启动国家生物技术和生物制造计划》，到本世纪末，生物制造可能占全球制造业产出的三分之一以上，价值接近 30 万亿美元。尽管生物制造产业还有很长的路要走，但我们认为其有望发展成为对标化工的庞大产业。

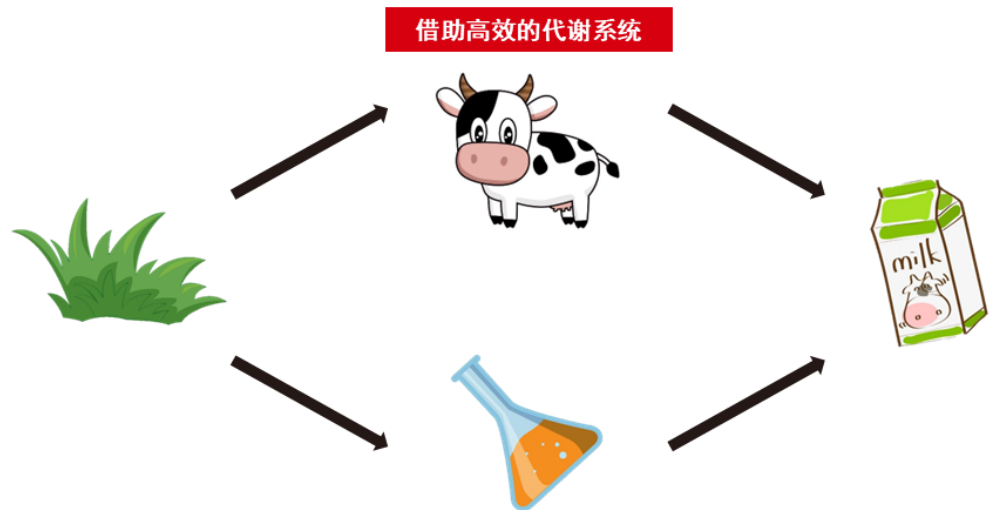
图 3：生物制造示意图



资料来源：凯赛生物招股说明书

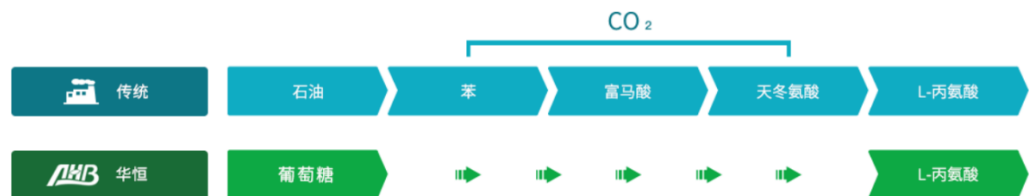
相比其他生产方式，生物制造的核心优势在于凭借助细胞工厂的高效代谢系统降低成本和减少排放。生产是通过若干物理过程或化学过程将原材料加工转化成产品的过程，以某些流程复杂的化工生产为例，从原材料到最终产物往往要经过数步化学反应，其中每一步涉及的转化率、催化剂、设备折旧、能源消耗等因素都将增加生产成本，因此对于这些生产过程，制造费用往往明显高于原材料成本，而如果能构建出高效的细胞工厂将原材料转化成同样的产品，将有效降低成本，因为原材料到产物的一系列化学反应将在细胞内进行（即借助代谢系统），只需要提供适宜发酵的条件，远比自行进行反应容易。打个比方，想要通过化学反应将青草转化成牛奶，无疑是十分困难的，而将青草喂给奶牛再挤出牛奶，显然更容易，本质是利用了奶牛的代谢系统。举个实际例子，华恒生物构建了以可再生葡萄糖为原料厌氧发酵生产 L-丙氨酸的微生物细胞工厂，相比传统的生产方式，实现了降本减排。根据中科院天津工业生物技术研究所统计，和石化路线相比，目前生物制造产品平均节能减排 30%-50%，未来潜力将达到 50%-70%，这对化石原料替代、高能耗高物耗高排放工艺路线替代以及传统产业升级，将产生重要的推动作用。

图 4：青草可以借助奶牛的代谢系统转化为牛奶



资料来源：90 设计网，中信证券研究部绘制

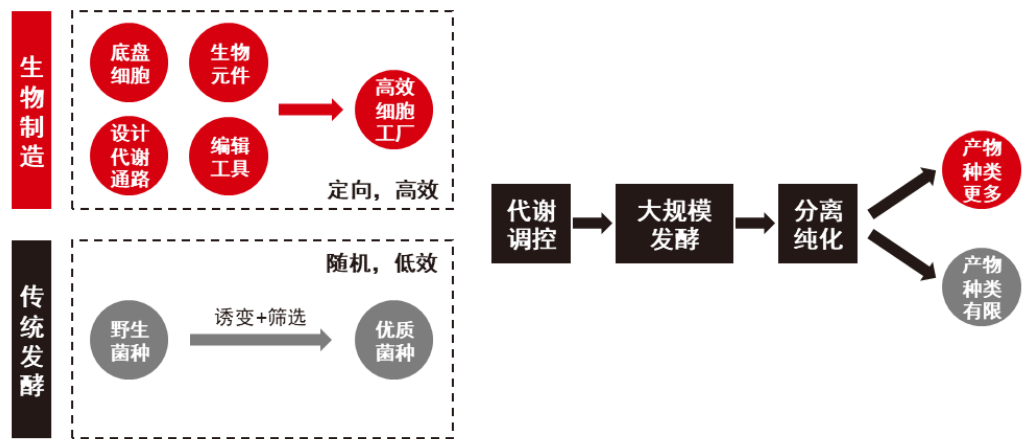
图 5：L-丙氨酸的两种生产方式



资料来源：华恒生物官网

生物制造和传统发酵的关键区别在于菌种。传统发酵往往通过对野生菌种采取各种诱变方式，选育出高产优质菌种，随着下游各领域对产品需求的多元化，天然存在的微生物中缺乏所需产物的代谢途径，或其代谢途径调控复杂，所需产物难以实现过量积累。尽管存在相对成熟的人工代谢调控方法—基因修饰如密码子优化、过量表达、竞争途径敲除等和发酵条件控制如温度、pH、供氧量、培养基碳氮比、前体物质添加等，但是传统改造属于静态调控，改造菌种往往遇到瓶颈。生物制造的核心在于用合成生物学技术构建高效细胞工厂，借助编辑工具和生物元件进行代谢通路的移植或动态调控。将合成生物学工具应用于定向进化，能缩短菌种定向进化周期，增加突变体筛选效率，将其应用于代谢工程，在将生物系统作为一个整体进行工程改造前提下，通过动态控制各复杂途径表达量，可以迅速提升产品多样性。

图 6：生物制造和传统发酵对比



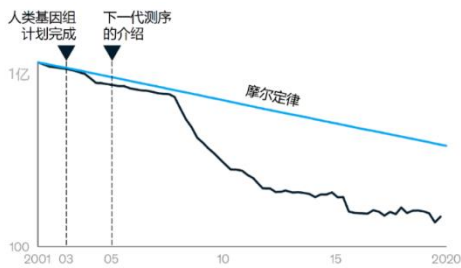
资料来源：《合成生物学构建微生物工程菌研究进展》（高欣，柳羽哲，江泽沅等），中信证券研究部

底层技术不断进步，助力合成生物学释放潜力

合成生物学的发展得益于多种底层技术的进步。合成生物学本身的发展和增长要归功于多种技术的融合，包括 DNA/RNA 设计和合成、基因测序和基因编辑等基础技术，以及一系列不断扩展的技术，如计算、生物信息学、多组学、人工智能、自动化、3D 生物打印和精密发酵等。近些年，生命科学领域的一系列技术创新，如 CRISPR/Cas9 基因编辑、干细胞重编程和单细胞测序等，正在为合成生物学提供新技术和工具，这些基础技术和工具的发展和运用加速了合成生物学的商业化落地进程。

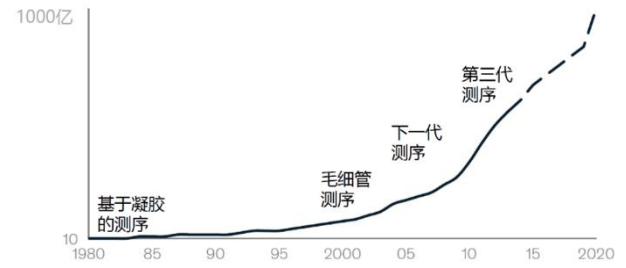
基因测序成本下降速度快于摩尔定律。解析基因组中的信息是现代生物学研究的基础，发起于 1990 年的“人类基因组计划”历时 13 年、耗资约 30 亿美元，完成了人类基因图谱的测绘。然而，只有当基因测序变得足够快捷和便宜时，人类所知的各种生物的基因图谱的潜力才能被充分释放出来。随着下一代测序技术（高通量测序）和第三代测序技术（单分子测序）的发展，目前基因测序成本的下降速度已经快于摩尔定律，2019 年在美国人类个体全基因组测序的价格已低于 1000 美元，并且这一价格有望在未来 10 年内降至 100 美元以下。测序的成本下降和通量提升带动了生物数据的大量产生，以便人类能够更好地理解生物学。

图 7：基因测序成本（单位：美元，纵坐标为对数刻度）



资料来源：麦肯锡，美国国家人类基因组研究所

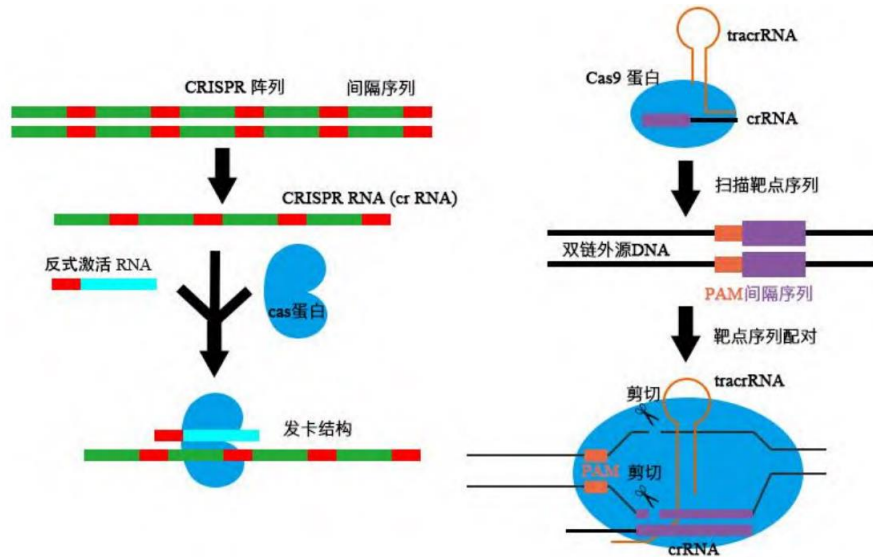
图 8：基因测序速度（单位：千字节/天，纵坐标为对数刻度）



资料来源：麦肯锡，美国国家人类基因组研究所

以 CRISPR 系统为代表的新型基因编辑技术飞速发展，在诸多生物学领域中得到广泛应用。基因编辑就是对目标基因及其转录产物进行编辑（定向改造），实现特定 DNA 片段的加入、删除，特定 DNA 碱基的缺失、替换等，以改变目的基因或调控元件的序列、表达量或功能。CRISPR/Cas 技术是新涌现的基因编辑工具，能够完成 RNA 导向的 DNA 识别及编辑，它使用一段序列特异性向导 RNA 引导核酸内切酶到靶点处，从而进行基因编辑，其开发更是为构建更高效的基因定点修饰技术提供了全新的平台。与传统基因编辑工具相比较，CRISPR 系统作为一种新型编辑工具，具有省时间、易构建、精度高等特点，成为近年基因组编辑的热门工具，当前已被广泛应用于基因敲除、基因沉默和基因激活等方面，极大扩展了基因编辑技术的应用范围。

图 9：CRISPR-Cas 系统作用机制



资料来源：《合成生物学构建微生物工程菌研究进展》（高欣，柳羽哲，江泽沅等）

DNA 合成技术历经四代，成本下降空间仍很大。DNA 合成技术可分为柱合成技术、芯片合成技术、超高通量芯片合成技术和酶促合成技术，其中酶 DNA 合成则在合成速度、长度、效率及成本等方面拥有化学合成无法比拟的潜力，成为 DNA 合成技术发展的前沿方向。根据 NHGRI Genome Sequencing Program 和 Synthesis，近 15 年测序成本下降超 10000 倍，oligo 合成（一般 20-200nt 长度）成本只下降约 10 倍，目前长链 DNA（一般 200nt 以上长度）的单碱基合成成本是其测序成本的 1 亿倍，DNA 合成的高成本使得快

速测序的价值降低，市场上缺乏高质量、低成本、按需合成 DNA 的解决方案。随着 DNA 合成技术的进步，DNA 合成的成本及门槛都会进一步降低，为合成生物学的发展提供支持。

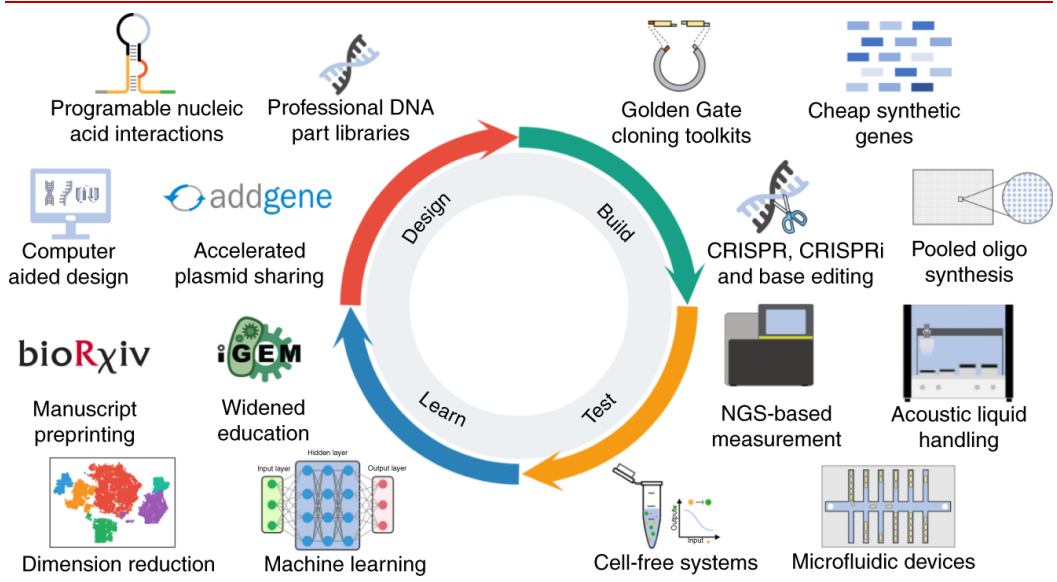
表 1: DNA 合成技术

	柱合成技术		芯片合成技术		超高通量芯片合成技术	酶促合成技术		
技术原理	亚磷酸胺三酯合成法	喷墨法	光化学法	电化学法	半导体结合电化学法	微阵列法	酵母体内 DNA 合成法	连接介导 DNA 合成法
技术特点	成本高，通量小，错误率底	较高品质，引物长	品质一般，引物短	较高品质，引物长	成本低，高品质，通量高	技术通量及成本优势，试剂消耗量少	实现体内合成	简单易用，DNA 突变率较低
发展限制	合成成本，合成仪器的开发		高技术门槛和专利壁垒		极高技术门槛和专利壁垒		技术的成熟度	

资料来源：生辉微信公众号，金斯瑞生物微信公众号，中信证券研究部

人工智能有望加速菌种改造 DBTL 循环。随着代谢负担的增加和生物反应器条件的压力变化，底盘细胞生理特性往往变得不可预测，研发人员需要从大量的实验数据以及旧文献中的“教训”中学习。在微生物菌种开发过程中，通常涉及到设计-构建-测试-学习 (DBTL) 循环，这种方法集成了菌株计算设计、基因工程改造、发酵测试和组学分析，以提升菌种性能，解决生产瓶颈。然而，DBTL 可能会进入无效循环，其众多的工程周期只会产生大量的信息，而不会导致产品性能的突破。将人工智能纳入 DBTL 循环有助于加速菌种开发，从长远来看，知识挖掘和标准数据库构建、人工智能与代谢网络等机理模型的集成将减少实验室在 DBTL 方面的工作量，将主要工作负担从人类转移到计算机，加快微生物细胞工厂的开发。

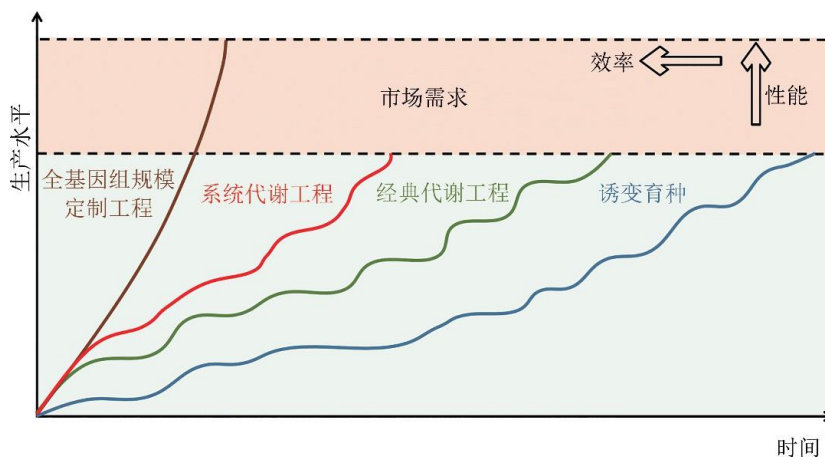
图 10: 设计-构建-测试-学习 (DBTL) 过程



资料来源：《The second decade of synthetic biology: 2010–2020》 (Fankang Meng & Tom Ellis)

全基因组规模定制工程有望进一步提升菌种的构建效率和性能。早期的诱变育种采取非理性手段进行菌种改造，是典型的“以时间（人力）换水平”的策略。随着生物学知识的积累，经典代谢工程的发展使得对生物代谢网络进行理性/半理性设计成为可能，以 DBTL 循环为基本流程，菌种改造效率得到显著提升。系统代谢工程的建立进一步使得研发人员能够结合组学和生物信息学手段获取生物学知识，从系统层次进行菌种的设计，进一步加快菌种的构建效率。然而，由于微生物代谢网络结构及其调控机制的复杂性和“生命暗物质”的广泛存在，目前代谢工程主流采用的 DBTL 循环，通常从菌种概念设计到满足实际应用需求，需要 50-300 人年和数亿美元的投入。随着高通量研究技术的发展，由数据驱动的全基因组规模定制工程化有望克服这些难题，通过将高通量技术在全基因组范围基因型空间的挖掘与改造相结合，有望以更低的开发成本、更短的研发周期获得生产效率更为高效、生产性能更加优越的下一代定制化菌种。

图 11：微生物细胞工厂设计和构建策略效率以及性能对比



资料来源：《微生物细胞工厂的设计构建：从诱变育种到全基因组定制化创制》（袁姚梦，邢新会，张翀）

合成生物学是 21 世纪最值得关注的行业之一。美国 ODASA（Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army）发布的《2016-2045 年新兴科技趋势报告》中明确提出，合成生物学的进步将推动人类跨入生物科技的新纪元。马斯克在 2022 年 G20 峰会上和印尼教育、文化、研究和技术部长交流时表示“可持续能源、人工智能、合成生物学是最令人激动、最被需要的三大领域”。我们认为在物理、化学、生物三大学科中，人类对生物学的探索最慢：经典物理学在 16-17 世纪开始发展，经典力学、热力学、电磁学等分支学科相继成熟，为第一次工业革命和第二次工业革命打下基础；近代化学在 18 世纪开始发展，拉瓦锡用定量化学实验阐述了燃烧的氧化学说，19 世纪近代原子论和分子学说相继提出，20 世纪开始化工产业才迎来大规模发展；细胞学说、达尔文进化论、孟德尔遗传定律等生物学里程碑事件发生在 19 世纪，1953 年发现 DNA 双螺旋结构后，生物学迎来蓬勃发展，21 世纪的生物革命将改变经济、社会和人们的生活。

应用领域分布广泛，合成生物学是万亿级赛道

当前产品类公司更佳，万亿级赛道如日方升

上中游技术成熟尚需时日，下游产品类公司是产业链上的核心盈利环节。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。基于此，可以将整个合成生物学产业分为大致的上、中、下游。其中，上游开发使能技术，包括DNA/RNA合成、测序与组学，以及数据相关的技术、产品和服务；中游是对生物系统和生物体进行设计、开发的技术平台；下游是涉及人类衣食住行方方面面的应用开发和产品落地。就我们对产业发展的判断，上中游的“卖水人”也许在未来能够高效率、低成本地提供菌种设计和构建解决方案后将在产业链上占据核心位置，但这可能是数十年后的事情，当前技术的成熟度和下游“挖矿人”的规模不足以支撑上中游企业尤其是平台类公司单靠“卖水”盈利，因此我们预计在未来数年内产品类公司（通过自主研发、产学研结合等方式获取优质菌种并实现大规模生产和商业化销售）将是产业链上的核心盈利环节。

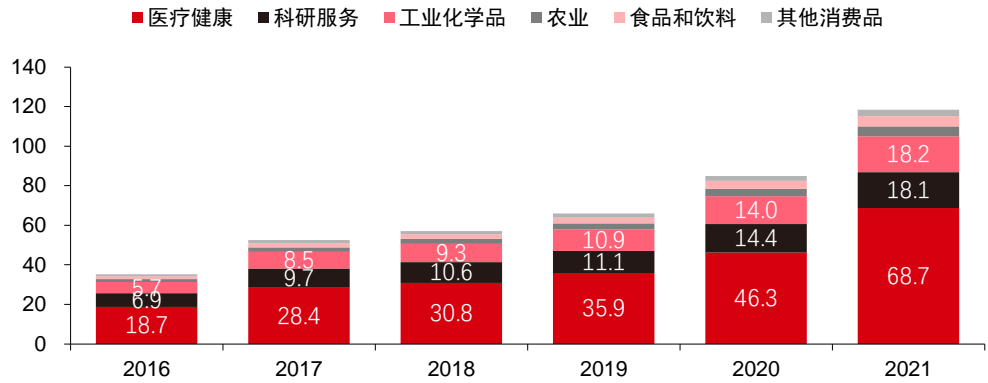
图 12：合成生物学企业图谱



资料来源：《合成生物学产业发展与投融资战略研究》（曾正阳，刘心宇，马铭驹）

短期来看，Markets and Markets 预计 2026 年全球合成生物学市场规模达到 307 亿美元，对应 2021-2026 年 CAGR 为 26.5%。根据 Deep Tech，全球合成生物学市场规模由 2016 年的 35.3 亿美元增长至 2021 年的 73.7 亿美元，对应 2016-2021 年 CAGR 为 83.6%，其中医疗健康领域是第一大应用领域且增速最快，2021 年全球医疗健康领域合成生物学市场规模为 68.7 亿美元，对应 2016-2021 年 CAGR 为 105.6%。此外，工业化学品是医疗健康外第二大应用领域，2021 年对应市场规模为 18.2 亿美元。根据 Markets and Markets，2021 年全球合成生物学市场规模高达 95 亿美元（不同机构的统计口径不同，导致市场规模有差异），该机构预计 2026 年达到 307 亿美元，对应 2021-2026 年 CAGR 为 26.5%。

图 13：全球合成生物学市场规模（单位：亿美元）



资料来源：Deep Tech，中信证券研究部

中长期来看，合成生物学每年带来的经济影响或超万亿美元。根据麦肯锡发布的《生物革命：创新改变经济、社会和生活》，其收集到大约 400 个实用案例，并以此为基础构建未来初步可预见的管线。麦肯锡主要通过 4 个价值增益驱动因素评估生物科学的进步及其应用对经济和社会的直接影响，包括减少疾病负担、提高质量、降低成本、环境效益，预计在未来 10-20 年，这些应用可能每年对全球产生 2-4 万亿美元的直接经济影响。尽管并非全部案例均与合成生物学相关，但显然合成生物学贡献了绝大部分，因此我们预计 2030-2040 年合成生物学每年带来的经济影响或超万亿美元。

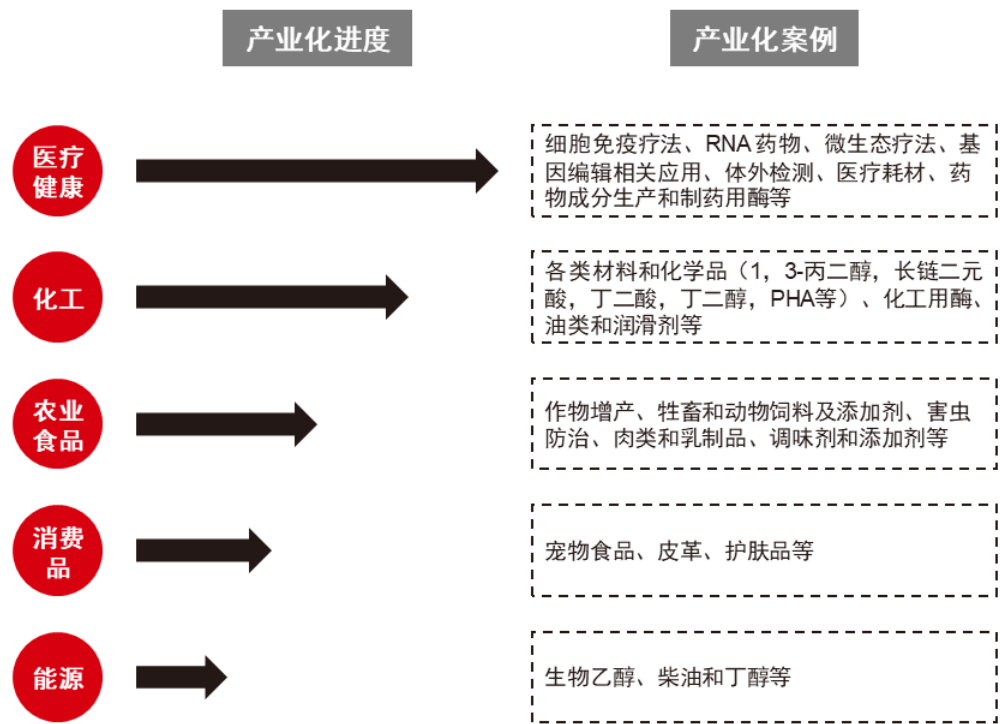
表 2：生物革命在细分领域的具体案例和带来的经济影响

领域	现状 2020 年前	短期 2020-2030 年	中期 2030-2040 年	长期 2040 年以后	2030-2040 每年影响	占比
人类健康和机能	病原体筛查 无创产前检查	CAR-T 细胞疗法治疗 液体肿瘤 液体活检	基因驱动预防媒介传播疾病 CAR-T 细胞疗法治疗 实体肿瘤	由干细胞产生的可移植器官 进行医学目的的胚胎编辑（例如通过 CRISPR）	0.5-1.3 万亿美元	约 35%
农业、水产养殖和食品	标记辅助育种（用作食品作物和动物） 食品来源、安全性和真实性的遗传追踪（如过敏原、物种和病原体）	植物基蛋白质 作物微生物组诊断和 益生菌治疗	培育肉 生长更快的转基因动物	通过增强光合作用加快生长的基因工程作物	0.8-1.2 万亿美元	约 36%
消费品和服务	DTC 基因测试	基于遗传和微生物组的个性化膳食服务 DTC 基因测试：关于健康和生活方式的个人见解	基于“组学”数据监测个人健康、营养和健康状况的生物监测传感器	基因治疗皮肤衰老	0.2-0.8 万亿美元	约 19%
材料、化学品和能源	药物生产的新生物路线（例如，多肽）	生物农药、肥料等新材料（如 RNAi 杀虫剂） 改进食品和饲养原料 现有的发酵工艺（如氨基酸，有机酸）	生物聚合物等新材料（如 PLA, PET）	生物太阳能电池和生物电池	0.2-0.3 万亿美元	约 8%
其他	用于法医的 DNA 测序		生物捕集二氧化碳 生物修复环境污染		小于 0.1 万亿美元	约 1%
合计					2-4 万亿美元	100%

资料来源：麦肯锡（含预测），中信证券研究部 注：挑选的案例预计在所在时点将经历快速增长

我们认为当前时点医疗健康和化工领域的产业化进度相对领先。尽管合成生物学在众多下游领域均有广阔的应用前景，但受限于技术成熟度和市场拓展等因素，下游各领域的产业化进度（结合通过产业化案例数和对应的市场规模判断）各不相同，其中医疗健康和化工领域的产业化进度相对领先，我们认为原因主要是：1）医疗健康领域本身就是建立在生物技术之上的，前沿的生物技术也会首先在医疗健康领域得到应用，此外在医疗健康领域产品效果的重要性大于产品价格，因此成本往往不会成为产业化的限制因素；2）化工领域对降低成本的诉求非常强烈，因此一旦生物制造在某类产品上展现出成本优势，往往能迅速替代现有竞品实现放量，此外大企业不断加强对环保、低碳、可持续的重视，也有利于合成生物学产品的产业化。归根结底，限制合成生物学产业化的本质是技术，整体上看合成生物学的产业化进度还处于初期，随着未来各环节技术的进步，下游各领域的发展前景和市场空间均非常广阔。

图 14：合成生物学在下游各领域的产业化进展情况



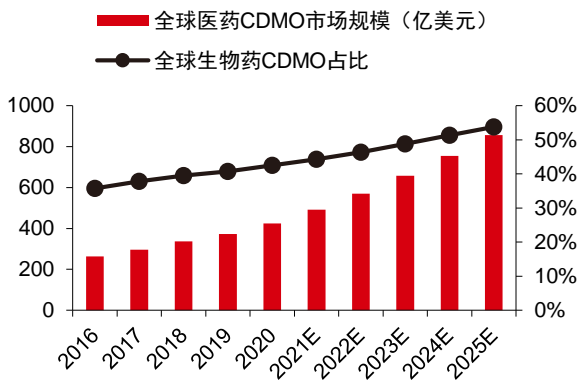
资料来源：各公司公告，各公司官网，中信证券研究部（含预测）注：下游各领域的产业化进度为中信证券研究部根据 Deep Tech 的数据和自身的主观判断得出的定性预测，仅供参考

医疗健康：制药与治疗过程将更具经济性和高效性

合成生物学在医疗健康领域的应用最为深入。目前合成生物学技术应用于医疗健康产业主要有两种方式：一种是对微生物进行设计和改造，使微生物可以生产某种药物分子，或其本身作为活性药物，实现治疗疾病的功能；另外一种是基于合成生物学的工程化思维和设计理念，对哺乳动物细胞进行改造，使其具备相应的功能，如用于器官移植、细胞治疗和疫苗生产等。

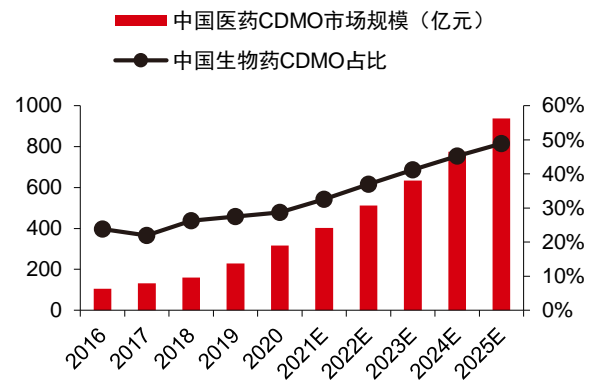
生物药在医药市场中占据越来越重要的地位。生物制药是指从生物来源中制造、提取、或半合成药品，早期主要是直接从动植物中提取，如牛胰岛素，随着现代生物技术在 20 世纪 80 年代兴起，现代生物制药技术逐渐发展为以生物工程为主导、发酵工程为中心的包括细胞工程、酶工程的现代生物体系，由于改造基因和蛋白质的传统方式已经达到了技术和经济的瓶颈，合成生物学就成为关键的新工具。和传统的化学药相比，生物药属于大分子，结构复杂，理化性质不稳定，生产运输条件较高，研发和生产的难度、成本都较高，但是生物药的治疗靶点更为精确，经常能带来更好的疗效和更低的毒副作用。随着技术的进步，生物药研发和生产的难点被逐渐克服，可靠的功效使其在医药市场中的重要性不断提升。根据 Frost & Sullivan 预测（转引自奥浦迈招股说明书），全球医药 CDMO 市场规模将由 2020 年的 424 亿美元增长至 2025 年的 856 亿美元，其中生物药 CDMO 占比由 42.5% 提升至 53.7%，对应全球生物药 CDMO 市场规模 2020-2025 年的 CAGR 为 20.7%；中国医药 CDMO 市场规模将由 2020 年的 317 亿元增长至 2025 年的 937 亿元，其中生物药 CDMO 占比由 28.7% 提升至 48.9%，对应中国生物药 CDMO 市场规模 2020-2025 年的 CAGR 为 38.1%。

图 15: 全球医药 CDMO 市场规模及生物药占比



资料来源: Frost & Sullivan (含预测, 转引自奥浦迈招股说明书), 中信证券研究部

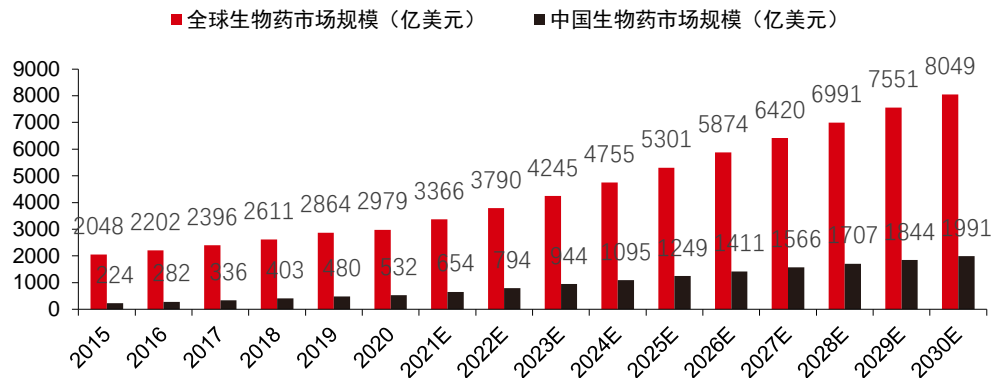
图 16: 中国医药 CDMO 市场规模及生物药占比



资料来源: Frost & Sullivan (含预测, 转引自奥浦迈招股说明书), 中信证券研究部

预计 2020-2030 年全球和中国生物药市场规模 CAGR 分别为 10.5% 和 14.1%。根据 Frost & Sullivan (转引自珈创生物招股说明书)，凭借生物药卓越的疗效、生物科技的显著发展以及研发投入不断增加，全球和中国生物药市场规模在 2020 年分别达到 2979 亿美元和 3457 亿元，该机构预计在 2030 年分别达到 8049 亿美元和 12943 亿元，对应 2020-2030 年的 CAGR 分别为 10.5% 和 14.1%。得益于可支付能力的提高、患者群体的增长以及医保覆盖范围的扩大，中国市场增速更快。

图 17：全球和中国生物药市场规模预测



资料来源：Frost & Sullivan (含预测，转引自珈创生物招股说明书)，中信证券研究部 注：中国的市场规模按照 6.5: 1 换算为美元

医疗健康领域与生物技术息息相关，将受到合成生物学深远的影响。一方面，合成生物学融合了基因疗法和细胞疗法，将转染了具有治疗功能的人工合成基因回路的工程化细胞植入生物体内以实现治疗疾病的目的，是临床治疗手段的重大变革。另一方面，与传统治疗方式（如药物治疗、放射治疗以及手术治疗等）相比，合成生物学可在更大的时空范围内，通过影响机体的特定生物学过程而重建生命内稳态，以达到治疗疾病的目的，更是一种医学模式和治疗理念的转变。

化工：低成本+可持续，化工产品的制造将被重塑

相比传统化工，生物制造具有低成本+可持续优势。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、材料和油类，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。根据 OECD 的报告，生物制造可以降低工业过程能耗、物耗，减少废物排放与空气、水及土壤污染，以及大幅度降低生产成本，提升产业竞争力。例如通过生物制造生产 1, 3-丙二醇，与石油路线相比，CO₂ 减排 63%，原料成本下降 37%，能耗减少 30%，成功创造了一个化纤原料摆脱石油价格体系的范例。OECD 预计 2023 年世界上 35% 的化工产品将被生物制造产品所取代，生物制造产业将逐步形成可再生资源持续发展的经济形态。

可持续已经成为企业不可忽视的重要因素。越来越多的企业正在做出多种类型的可持续承诺，其中大部分是化学和材料企业，麦肯锡 2021 年的调查发现近 50% 的领先企业承诺减少“范围 3”温室气体排放，包括与原料和原料上游生产相关的排放，同时承诺企业数量从 2016 年到 2021 年以 34% 的 CAGR 增长，比 2006 年到 2015 年的 14% 显著增加。针对“范围 3”做出的承诺正在对化学品和材料下游行业超过 4 万亿美元的收入产生影响，涉及到的化学品和材料的产值约 5000 亿美元，在这种趋势下，生物制造的可持续优势不仅仅有利于企业自身，对整个产业链更加重要。

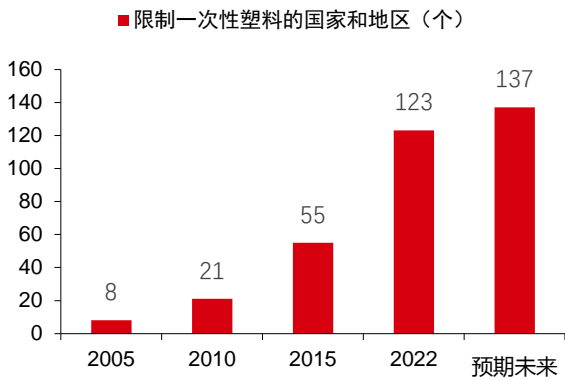
表 3：化学品和材料下游行业领先企业的可持续承诺情况与经济影响

项目	服装行业	汽车行业	电子行业	快消行业	包装行业	合计
无承诺企业占比	21%	24%	13%	14%	13%	
承诺“范围 1、2”企业占比	35%	26%	35%	4%	46%	
承诺“范围 3”企业占比	44%	50%	52%	82%	41%	
受影响的收入（亿美元）	4300	23000	9000	6900	1600	44800
涉及到的化学品和材料的产值（亿美元）	700	1100	700	1250	1600	5350

资料来源：麦肯锡，中信证券研究部 注：《温室气体议定书》将温室气体（GHG）排放分为三组或“范围”，“范围 1”涵盖自有或受控来源的直接排放，包括燃料和车辆燃烧的排放；“范围 2”涵盖购买的电力、蒸汽、加热和冷却产生的间接排放；“范围 3”排放不由公司直接拥有，但涵盖了公司价值链中发生的所有其他间接排放，包括上游排放和下游排放。

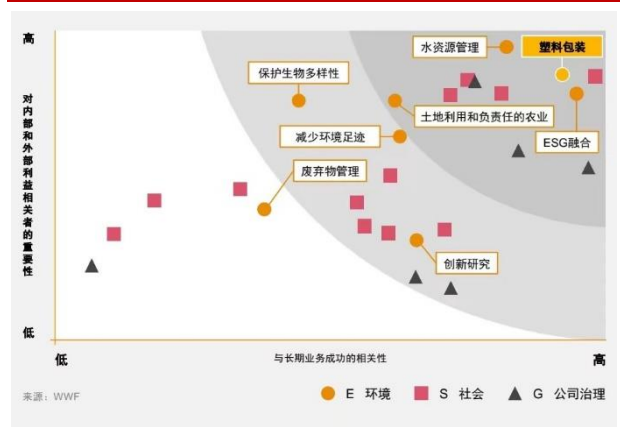
生物可降解材料有望替代传统塑料。塑料作为石化产业重要的下游领域之一，其制造所需要的石油消耗量占据全球石油产量的 8%。根据 NRDC 预测，如果按照目前的趋势发展，2050 年全球塑料将消耗全世界 20% 的石油。塑料污染问题逐渐成为仅次于气候变化的全球第二大环境议题，塑料一旦泄漏到土壤、水体等自然环境中，便难以降解，会造成视觉污染、土壤污染、水体污染等各种环境破坏，处置方式不当还会影响温室气体排放，给脆弱的生态环境带来持久性危害。另外，微塑料进入食物链也可能对人体健康带来严重危害。各国相继出台限塑政策，第五届联合国环境大会上 175 个国家和地区通过了《终止塑料污染决议（草案）》，将在 2024 年底前完成首个全球“限塑令”，同时塑料污染治理和可循环包装应用也成为全球主要快速消费品公司亟需解决的重要 ESG 议题。生物可降解材料具有类似塑料的物理和机械性能，结合了传统塑料的优点，同时又具有白色污染难降解的解决方案，有望成为传统塑料的最佳替代。

图 18：2015-2022 年累计限制一次性塑料的国家和地区数目



资料来源：The Nicholas Institute for Energy, Environment & Sustainability（含预测），中信证券研究部

图 19：塑料包装成为快消品公司最关注的 ESG 议题



资料来源：WWF（转引自《PHA 生物可降解塑料产业白皮书》（普华永道））

PHA 是最具前景的生物可降解材料。生物可降解材料分为石油基和生物基，主要的可降解材料如 PBAT、PBS、PLA、PHA 等的单体（PBAT 的己二酸和丁二醇、PBS 的丁二酸、PLA 的乳酸）或聚合物本身（PHA）理论上均可通过生物制造的方式生产。考虑到原材料的可持续性和生产过程的安全性，生物基可降解材料更有优势，根据 European Bioplastics 预测，2027 年全球生物基塑料产能将达到 629 万吨，可降解塑料占到 56.5%，其中 PLA 和 PHA 分别占 37.9%和 11.8%。相对于其他可降解材料，PHA 在降解性能和应用领域方面均更优：降解性能上，PHA 的降解范围更广，可以在淡水、海水、土壤、堆肥、

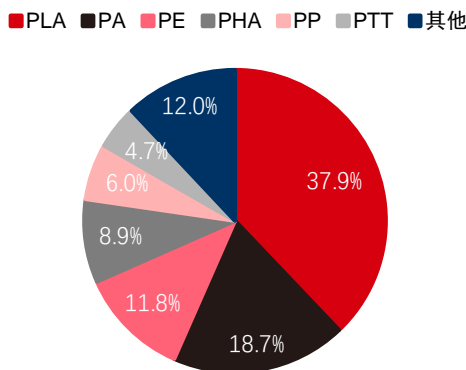
甚至有机污泥中生物降解，还可以通过与其他材料共混来提高终产品的可降解性；物理性能上，PHA 是系列聚合物，既可以对共聚物的单体结构进行选择搭配，亦可以与其他可降解材料复配，提升共混物的物理机械性能。根据《PHA 生物可降解塑料产业白皮书》（普华永道，2022 年）预测，短期内，PHA 生产成本仍将高于 PLA，其市场需求主要为不便于回收、易泄漏到环境中的场景，市场规模约 629 亿元；长期看，随着 PHA 生产成本不断下探，其有望在包装领域完全替代 PP、PE，市场规模达到 1.2 万亿元。

表 4：各类生物可降解材料比较

项目	淀粉基	PBAT	PLA	PHA
资源利用	生物基	石油基	生物基	生物基
生产方法	化学改性	化学合成	化学合成	生物合成
材料主要性质	强度	一般	较高	高
	韧性	差	好	差
	阻隔性	差	差	一般
	其他	不耐水解	柔性单一	透明性好，脆性较大
加工性能	差	较好	较好	较好
储存性能	差	一般	差	较好
降解性能	堆肥	√	√	√
	土壤	√	√	×
	水体	×	×	×

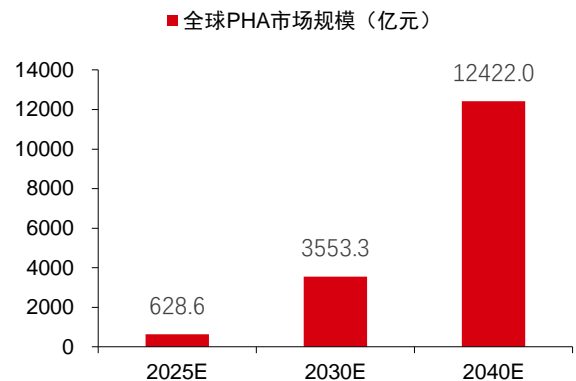
资料来源：《PHA 生物可降解塑料产业白皮书》（普华永道），中信证券研究部

图 20：2027 年全球生物基塑料产能预测



资料来源：European Bioplastics（含预测），中信证券研究部

图 21：全球 PHA 市场规模预测



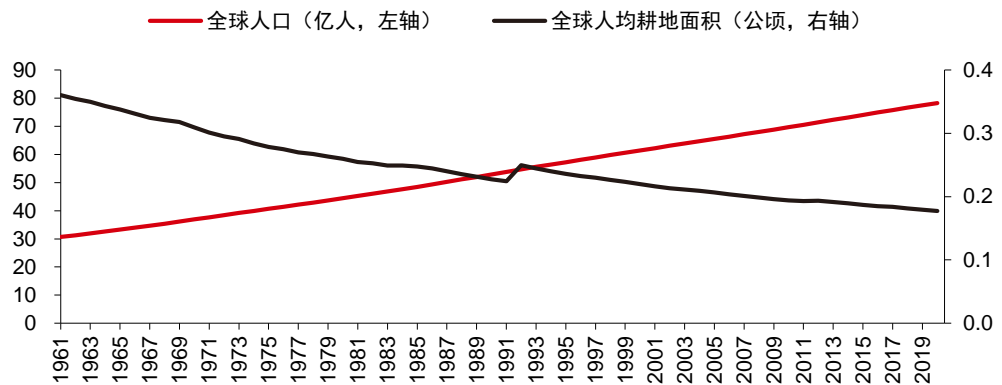
资料来源：《PHA 生物可降解塑料产业白皮书》（含预测）（普华永道），中信证券研究部

看好未来生物制造在化工领域突破大体量产品。生物制造在一些细分领域已经完全取代传统化工，例如，长链二元酸是一类用途极其广泛的重要精细化工产品，针对长久以来化学合成长链二元酸技术的不足，凯赛生物以石油中的副产物正烷烃为原料，采用微生物发酵的方法生产长链二元酸，显著降低了成本和污染，是世界上首个使用生物法产品取代石油化学法产品的商业成功案例。但无论是凯赛生物的长链二元酸、华恒生物的丙氨酸、杜邦的 1, 3-丙二醇，都是需求在十万吨级或更小的产品，而在百万吨级需求的化工产品中尚未有成功替代的案例，我们认为随着合成生物学技术的进步，生物制造必然会在化工领域突破大体量产品。目前已经有公司取得进展，东丽株式会社开发出一种 100%生物基己二酸的生物合成方法，并已经开始探讨扩大研究规模，目标在 2030 年左右实现该技术的实用化。

农业和食品：更高效的农业生产和更绿色健康的食品

合成生物学有望改善人类面临的粮食短缺困境。全球人口从 1961 年的 30.7 亿增长到 2020 年的 78.2 亿，在此期间全球人均耕地却减少约一半，原因除人口因素外还包括工业化和城镇化进程加快以及气候问题。人类生存所面临的粮食危机越来越严重，联合国粮农组织预计至 2050 年全球粮食产量需增产 70% 才能满足需求，以快速且可持续的方式在更少的土地上生产更多的粮食是农业界所面临的巨大挑战。随着合成生物学的快速发展，其在农业领域的应用如作物增产、牲畜和动物饲料及添加剂、害虫防治等方面和在食品领域的应用如肉类和乳制品、饮品、食品安全、调味剂和添加剂等方面的潜力日益凸显。

图 22：1961-2020 年全球人口和人均耕地面积变化



资料来源：世界银行，中信证券研究部

合成生物学能够从多个方面提高农业生产力，其比转基因技术更加高级。对于植物作物，利用合成生物学可以提高光合作用效率来增加产量、促进自主固氮来减少化肥使用、重塑代谢通路来改良农产品品质以及高效防治虫害；对于牲畜，主要是利用合成生物学高效提供蛋白饲料。合成生物学技术与转基因技术在农业上的应用有一部分重叠，前者是建立在后者基础之上的，两者主要不同是转基因技术将个别外源基因转移到某生物基因组内，使之能表达有益的蛋白质，而合成生物学则一方面是从头设计和构建自然界中不存在的人工生物体系，另一方面从对现有生物的重新设计和改造的角度看，其通常是转移一组基因，因而要在更大规模更多层次上涉及到细胞网络，如代谢网络等。因此，合成生物学对农业产生的影响和带来的前景将超过转基因技术。

表 5：合成生物学在农业领域的应用

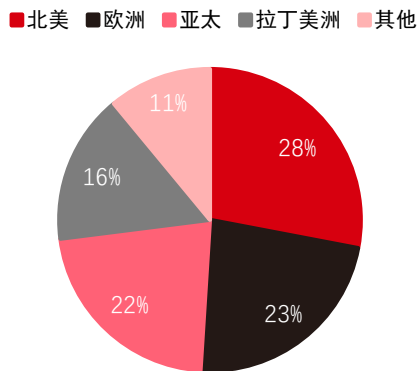
途径	方法	应用案例
提高植物作物光合作用效率	提高 Rubisco 酶活性	用野生小麦中具有高 CO ₂ 底物特异性的 Rubisco 替代栽培小麦中的 Rubisco 酶后，固碳效率理论上将会增加 20%
	引入碳浓缩机制	2016 年，Tobias Erb 研究小组发表了第一个用于体外固定 CO ₂ 的全合成代谢途径。该途径由来自 9 种不同生物的 17 种酶组成，比天然碳固定途径的效率提高了 5 倍，并且完全对氧气不敏感
	减少（光）呼吸过程 CO ₂ 损失	美国伊利诺伊大学的 Donald R. Ort 课题组采用合成生物学手段重新设计光呼吸过程以降低光呼吸通量，使得转基因烟草的生物量较野生型增加了 40%
提高光能利用效率	提高光能利用效率	我国的郭房庆研究组通过遗传工程手段分别在拟南芥、烟草和水稻中创建了一条全新的 D1 蛋白合成途径，使得光合作用效率提高，从而增加了植物的生物量和产量
促进自主固氮	建立固氮酶或共生固	国际上许多研究团队已开始借助菌根共生体系的部分信号通路并将其引入非豆科植物体，人工构

途径	方法	应用案例
	氮	建非豆科作物结瘤固氮体系，实现非豆科植物自主固氮
	合成植物微生物组	致力于改善作物根系微生物群的 Pivot Bio 公司，已经实现了通过人工构建微生物群来增强植物根系的固氮能力，并 最终减少化学肥料的使用
重塑代谢通路	合成/改良代谢途径	科学家们将维生素 A 的合成前体—β-胡萝卜素合成中的 2 个关键基因，来源于玉米的八氢番茄红素合成酶基因 PSY 和噬夏孢欧文菌中的八氢番茄红素脱氢酶基因 Crt I 导入水稻胚乳中， 使得水稻籽粒的胡萝卜素含量提高了 23 倍，实现了通过日常饮食来满足摄入维生素 A 的需求
防治虫害	生物农药	美国公司 Green Light 致力于在农业和医疗领域开发高性能的 RNA 产品，其双链 RNA 喷剂产品可用于害虫、杂草和有害真菌的防治； 美国公司 Ag Biome 致力于将微生物群落用于植物遗传性状分析、生物农药研制，以及开发新型农作物保护产品
	改造害虫基因	英国公司 Oxitec 主要通过改造害虫基因，以及利用虫际传播来控制 and 减少害虫，从而避免害虫传播疾病和毁坏农作物
为牲畜提供高效蛋白饲料	微生物发酵生产	美国公司 Calysta 正在利用天然气和微生物发酵生产蛋白饲料。该产品可用于鱼类、牲畜及宠物营养的蛋白替代，且已经在多个国家获得批准使用
	新一代酶解决方案	美国公司 Agrivida 首款产品 Grain 酵素植酸酶可以提高动物饲料的消化率，减少动物体内的营养抑制剂，从而使畜牧养殖业受益

资料来源：《合成生物学在现代农业中的应用与前景》（吴杰，赵乔），《全球合成生物行业发展前沿分析》（邱伟龙，廖秀灵，罗巍等），中信证券研究部

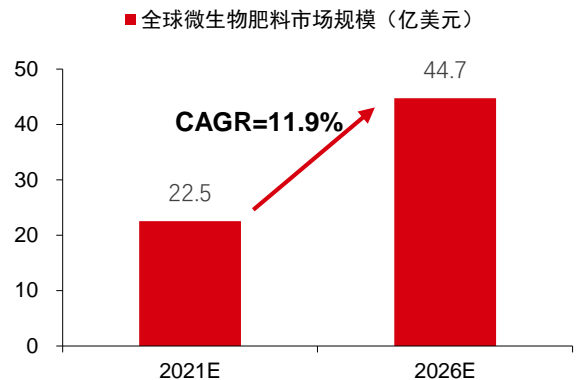
预计 2026 年全球微生物肥料市场规模将达到 44.7 亿美元。微生物肥料是指以微生物的生命活动为核心，使农作物获得特定的肥料效应的一类肥料制品，从传统的菌种筛选到菌种改造设计、多高效复合菌系制造、肥料菌株功能挖掘等技术的应用，合成生物学实现了肥料菌株研发的多样性、调控性和精确性。根据 Markets and Markets，北美是全球使用微生物肥料最多的地区，其次是欧洲，2020 年美国的微生物肥料使用比例高达 60-70%，欧洲许多国家达到 45-60%。Markets and Markets 预计全球微生物肥料市场规模将在 2021 年达到 22.5 亿美元，并以 11.9% 的 CAGR 增长，在 2026 年达到 44.7 亿美元。随着合成生物学技术不断进步，微生物肥料的增产效果、方便程度、生产成本都将持续改善，为解决人类面临的粮食危机做出贡献。

图 23：2020 年全球微生物肥料需求分布



资料来源：Markets and Markets，中信证券研究部

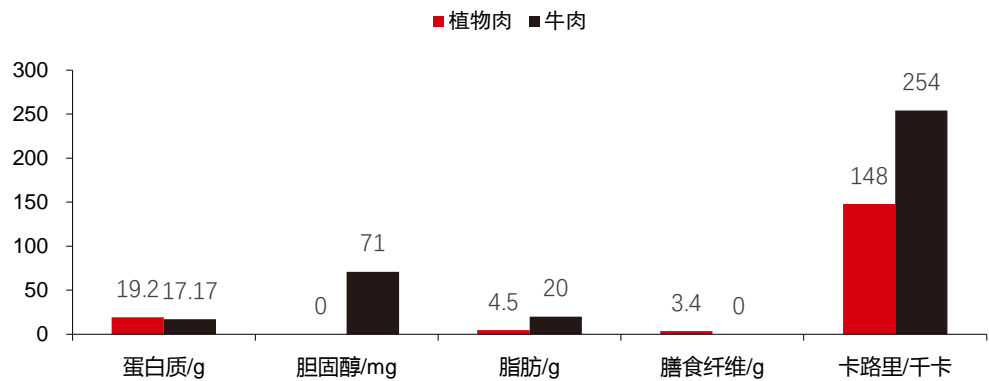
图 24：全球微生物肥料市场规模预测



资料来源：Markets and Markets (含预测)，中信证券研究部

传统畜牧业存在诸多问题，植物肉提供优质解决方案。随着全球的肉类消费需求增长，传统畜牧业规模扩张导致动物疫情频发、滥用抗生素、温室气体排放等问题。根据联合国粮农组织的数据，2015 年全球畜牧业温室气体排放约为 7.1Gt 二氧化碳当量，占人类活动温室气体排放总量的 15%左右。在此背景下人造肉作为畜牧产品的替代品被开发出来，人造肉分为细胞肉和植物肉，目前细胞肉由于技术难、成本高等因素无法规模量产，植物肉以植物蛋白、氨基酸和脂肪为基础，添加经合成生物学技术改造的酵母合成的植物性血红蛋白而制成，已经实现大规模商业化生产。相比传统畜牧业，每生产 1 公斤植物肉，为环境节省了 93%的土地浪费与破坏、99%的生产用水和 90%的温室气体排放，除此之外，根据美国农业部的研究，普通肉类中含有的激素等，会导致癌症、心脏病等疾病患病风险大幅增加。从营养学角度，植物肉具有零胆固醇、零激素、零反式脂肪酸、零抗生素，富含人体必需氨基酸等优点，更符合人们对饮食健康的要求。根据《2021 中国植物肉行业洞察白皮书》（星期零，彭博商业周刊），目前植物蛋白肉的研究以及专利申请主要集中于植物蛋白纤维化加工技术、血红蛋白的生产与应用、风味物质的生产与应用三方面，其中后两者均依靠合成生物学实现。一方面，采用经改造的微生物生产的血红蛋白，可以赋予植物蛋白类似肉制品的颜色，并且可以弥补植物蛋白铁元素含量不足的问题；另一方面，采用经改造的微生物生产多种脂肪、维生素、风味物质，并结合热加工处理方法，使植物蛋白肉的口感接近于真实肉制品。

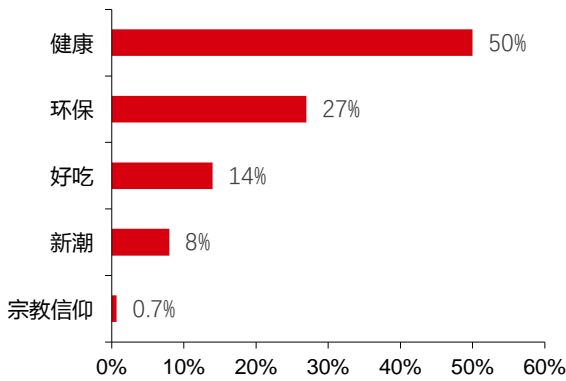
图 25：每 100g 植物肉和牛肉中含有的物质



资料来源：USDA，中信证券研究部

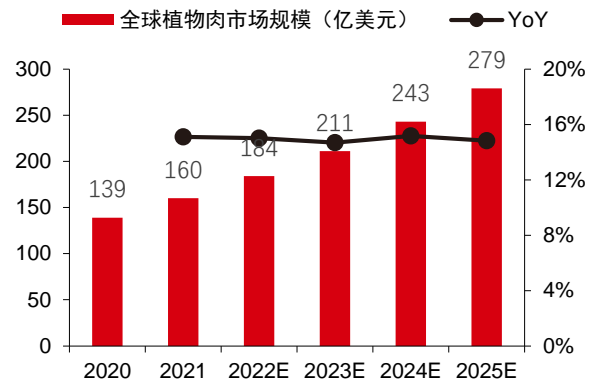
环保健康生活是大势所趋，预计 2025 年全球人造肉市场规模达到 279 亿美元。环保方面，根据普华永道的数据，如果全世界用植物肉取代 10%的动物肉消费，人类将节约 1.76 亿吨二氧化碳排放，相当于 27 亿棵树的吸收量；将释放 3800 万公顷土地，相当于云南省的面积；将减少 86 亿立方米用水，相当于渭河一年的总流量。健康方面，根据《美国心脏协会》发表的研究《Centered Diet and Risk of Incident Cardiovascular Disease During Young to Middle Adulthood》（Yuni Choi, Nicole Larson, Lyn M Steffen 等），最常吃植物性食物的人患心血管疾病，如心脏病、中风、心力衰竭和其他疾病的风险降低了 16%，他们死于心血管疾病的风险也降低了 31%到 32%。环保和健康的生活方式是人类发展的趋势，也是消费者选择植物肉的重要原因。Markets and Markets 预计 2025 年全球人造肉市场规模达到 279 亿美元，对应 2021-2025 年的 CAGR 为 14.9%。

图 26：消费者选择植物肉的原因



资料来源：《2021 中国植物肉行业洞察白皮书》（星期零，彭博商业周刊），中信证券研究部

图 27：全球植物肉市场规模预测



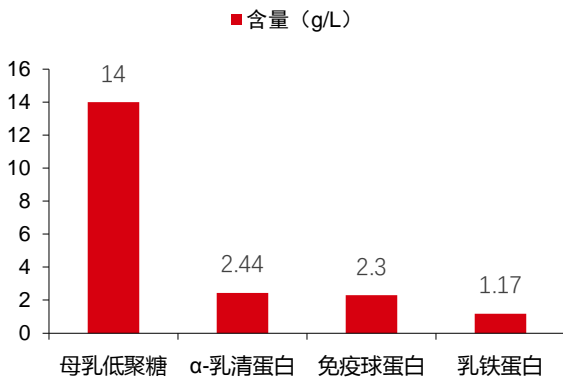
资料来源：Markets and Markets (含预测)，中信证券研究部

消费品：创造多元化的选择和更美好的生活

合成生物学正在为消费者提供多元化的产品。合成生物学在消费品领域的应用主要包含人类营养、宠物食品、皮革、护肤品等多方面。如利用微生物发酵生产动物蛋白食品来满足宠物营养和健康需求，利用菌丝体或微生物发酵生产皮革，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。Amyris 以甘蔗为原料进行酵母发酵合成法尼烯，再以法尼烯为原料通过化学反应合成角鲨烯和角鲨烷，替代了鲨鱼肝油和高精度橄榄油的提取技术路线，提供更加环保、更加纯净的可持续化妆品原料。

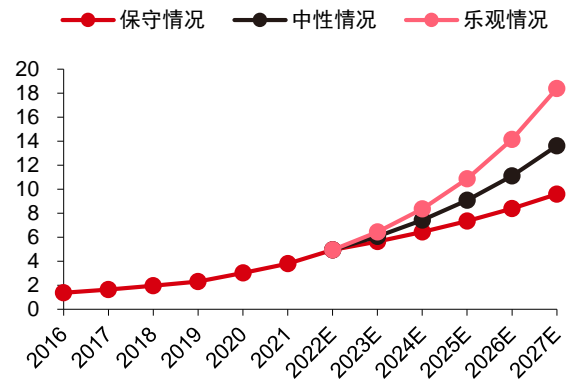
合成生物学助力婴幼儿配方奶粉营养素添新品。HMOs（母乳低聚糖）是母乳中仅次于乳糖的第二大类碳水化合物成分和第三大营养成分，与母乳中其他活性营养相比，HMOs 的含量是乳铁蛋白的 12 倍，免疫球蛋白的 6 倍。HMOs 的结构超过 200 多种，目前已确定结构的 30 多种，每一种结构的 HMO 都有独特的功能性，人类对 HMOs 的研究超过 130 年，在合成生物学技术的加持下，2016 年前后才实现商业化。目前，在 HMOs 生产工艺上，实现量产的制备方法包括酶法和发酵法。根据《母乳低聚糖（HMOs）行业市场调研》（恒鲁生物），2021 年全球 HMOs 市场规模为 3.8 亿美元，仍处于导入期阶段；随着产品价格逐步降低，其在婴幼儿配方奶粉、功能食品和饮料、营养补充剂等领域的渗透率将不断提升，在保守/中性/乐观三种情景下，预计 2027 年全球 HMOs 市场规模分别达到 9.57/13.60/18.38 亿美元，对应 2022-2027 年 CAGR 分别为 14.1%/22.4%/30.0%。

图 28: 母乳中的活性营养成分含量



资料来源: 奶粉速递, 中信证券研究部

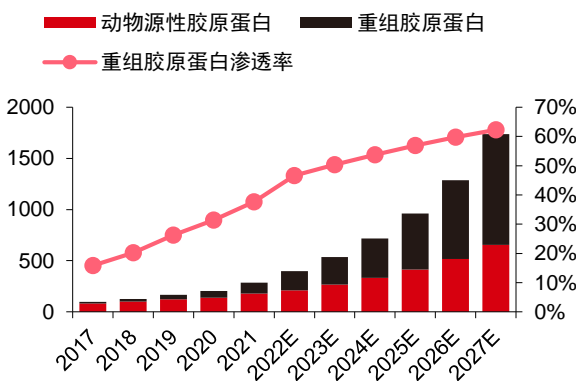
图 29: 全球 HMOs 市场规模预测 (单位: 亿美元)



资料来源: 《母乳低聚糖 (HMOs) 行业市场调研》(恒鲁生物) (含预测), 中信证券研究部

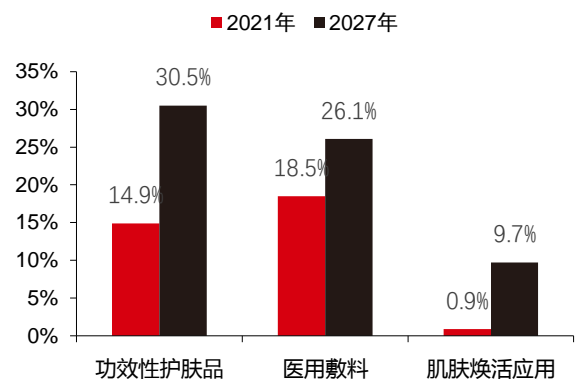
合成生物学助力重组胶原蛋白渗透率快速提升。胶原蛋白是用于化妆品领域的关键生物活性成分, 主要功效是皮肤修护和抗衰老, 胶原蛋白可分为重组胶原蛋白 (合成生物学制造) 和动物源性胶原蛋白 (动物组织提取)。重组胶原蛋白具有包括生物活性及生物相容性更高、免疫原性更低、漏检病原体隐患风险更低、水溶性更佳、无细胞毒性以及可进一步加工优化等内在优势, 在化妆品领域的应用逐渐普及。根据 Frost & Sullivan 预测 (转引自巨子生物招股说明书), 中国重组胶原蛋白产品市场规模将由 2021 年的 108 亿元增长至 2027 年的 1083 亿元, 对应 2021-2027 年 CAGR 为 46.8%; 中国重组胶原蛋白在整个胶原蛋白市场中的渗透率将由 2021 年的 37.7% 提升至 2027 年的 62.3%, 在主要下游市场中, 功效性护肤品/医用敷料/肌肤焕活应用领域重组胶原蛋白渗透率均明显提升。

图 30: 中国胶原蛋白产品市场规模预测



资料来源: Frost & Sullivan (含预测, 转引自巨子生物招股说明书), 中信证券研究部

图 31: 中国重组胶原蛋白产品在主要下游市场的渗透率预测

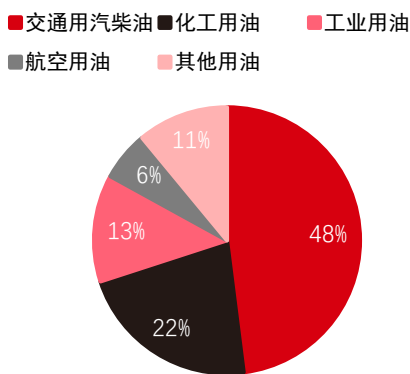


资料来源: Frost & Sullivan (含预测, 转引自巨子生物招股说明书), 中信证券研究部

能源：生物燃料+生物制氢，帮助人类摆脱化石能源依赖

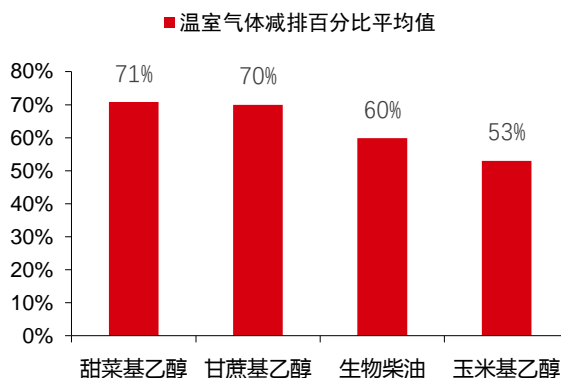
环保和减排压力下生物能源再受重视。目前合成生物学在能源领域的应用主要包含生物乙醇、柴油和丁醇等方向，能源类合成生物学公司是整个合成生物学行业中起落较大的一个类别。2010-2020年，随着国际环境的变化，加上页岩油开采的商业化落地，使得国际原油价格剧烈波动，这无疑击穿了一众该类别公司的生物燃料梦想。根据 IEA，2021 年全球石油消耗的产业占比中，交通用汽柴油和航空用油合计占比 54%，通过开发生物能源来减少燃料用油的意义重大，而且其发展的最大推动力已经不再是比化石能源廉价，而是比化石能源环保。IEA 的一项分析指出，为了阻止全球的升温超过 2℃，生物能源在总能源需求中的占比需要从 2015 年的 4.5% 提高到 2060 年的 17%，但是截至目前，生物能源的产量远低于达到这个目标所需的速度。

图 32：2021 年全球终端用油消费占比



资料来源：IEA，中信证券研究部

图 33：生物能源的温室气体减排效果

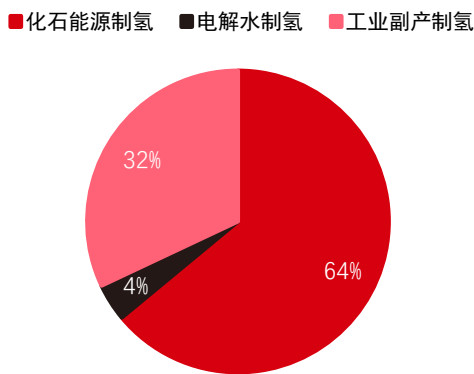


资料来源：欧盟《2018 RED》，中信证券研究部

生物能源推广加速，预计 2025 年生物柴油市场空间超 3000 亿元。根据《Statistical Review of World Energy 2022》(BP)，全球生物燃料消费量由 2011 年的 117 万桶/天增长到 2021 年的 184 万桶/天，生物燃料消费量占石油燃料（汽油+柴油+煤油+燃油）消费量的比例由 2011 年的 1.90% 提高到 2021 年的 2.95%，提升空间巨大。各国对于交通运输领域的生物能源使用都有指标，欧盟的 2021 年修订版 RED（可再生能源指令）中，要求 2030 年成员国交通运输部门中生物燃料占总燃料的比例和生物能源占总能源的比例的目标分别提高到 26% 和 40%。生物柴油掺混入化石柴油中制成混合柴油在减少有害气体排放的同时无需额外改动，有效降低了使用门槛。根据卓越新能招股说明书披露，北欧国家如瑞典、芬兰、挪威等 2020 年目标生物柴油掺混比例均达到 20% 及以上，欧洲主要经济体德国、法国、英国等也在设置更高的要求。随着生物柴油掺混比例的政策性提升，OECD-FAO 预计 2025 年全球生物柴油需求量将达到 5122 万吨，按照 6000 元/吨的价格保守测算，市场空间可达 3073 亿元。尽管目前生物柴油主要采用化学法生产，但未来具有反应条件温和、无污染排放等优点的生物酶法、发酵法将扮演越来越重要的角色。

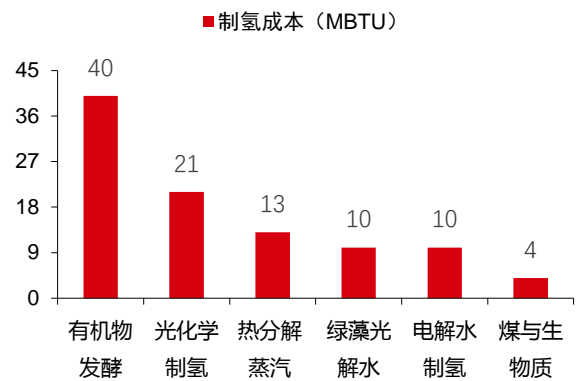
生物制氢有望成为未来最理想的能源解决方案之一。氢气凭借清洁高效、热值高、可持续、应用广泛等突出优势，被誉为“21 世纪的终极能源”，制氢的主要技术路线分为五种：石油、煤炭、天然气等化石能源重整制氢；电解水制氢；利用冶金、焦化、氯碱等过程中的工业副产气制氢；太阳能光解水制氢以及生物制氢。目前传统化石能源制氢技术仍在全中国范围内占据绝对主流位置，根据《2022 年中国氢能行业白皮书》（头豹研究院），中国制氢来源中化石能源制氢占比接近 2/3。但在绿色能源转型与“双碳”目标的时代背景下，以化石能源产“灰氢”的方式终究只能作为暂时的过渡性手段，以生物制氢为代表的可再生能源制“绿氢”技术被认为是属于未来的、最为理想的能源解决方案之一。但受限于技术尚未成熟、设备及储运设施不完善等因素，生物制氢生产成本较高，短期内是制约其实现商业化应用的关键问题。

图 37：中国制氢来源



资料来源：《2022 年中国氢能行业白皮书》（头豹研究院），中信证券研究部

图 38：不同制氢技术的成本估算



资料来源：生辉微信公众号，中信证券研究部

合成生物学将成为生物制氢突破的关键。根据 2022 年科技部、国家发展改革委、工业和信息化部等 9 部门发布的《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030 年）》，前沿和颠覆性低碳技术包括新型绿色氢能技术，即研究基于合成生物学、太阳能直接制氢等绿氢制备技术。通过合成生物学技术从提升菌种光能吸收效率、提高菌种产氢率、改用廉价原料等方面取得突破，生物制氢有望逐步具有经济性。中国氢能联盟预测，2050 年中国氢能需求量将达到近 6000 万吨，假设届时生物制氢占比 10%，产氢量约为 600 万吨，我们按照 2 万元/吨的价格测算，市场规模高达 1200 亿元。

类型	公司	介绍	时间	轮次	金额
		新型合成生物材料的设计、合成、表征、改性、加工成型以及高新技术含量的产品研发和生产			人民币
	昌进生物	昌进生物聚焦在微生物合成蛋白的研究、开发、产业化	2022.06.23	A 轮	1.4 亿元人民币
	摩珈生物	摩珈生物多年来致力于开发绿色环保的生物制造方法，用以取代高污染、高能耗的传统化工生产技术，主要产品为维生素 B5 和生物基聚合物	2022.06.23	B 轮	8000 万美元
	近岸蛋白	近岸蛋白打破传统蛋白设计理念，实现定向进化蛋白质性能，根据客户需求研发生产出高性能抗体及符合药企质量体系生产要求的酶及试剂	2022.09.29	IPO	17.42 亿元人民币
	巨子生物	巨子生物设计、开发和生产以重组胶原蛋白为关键生物活性成分的专业皮肤护理产品	2022.11.04	IPO	4.96 亿港元
	柯泰亚生物	柯泰亚生物通过高端生物制造为个护、营养、医药等市场提供天然、绿色、可持续的创新原料产品	2022.11.09	A+轮	超亿元人民币
	川宁生物	川宁生物是一家抗生素中间体制造商，采用生物发酵、化学提取及酶解技术，为用户提供硫氰酸红霉素、头孢系列中间体等产品	2022.12.27	IPO	10.22 亿元人民币
	镁伽科技	镁伽科技专注于机器人和人工智能技术的研发并将其深度融合于行业应用，为客户提供先进的智能自动化产品与解决方案	2022.04	C 轮	3 亿美元
	安序源	安序源深耕于精准医疗和大健康领域，研发上游核心技术，生产制造新一代基因测序及诊断高端设备，并提供完整产业解决方案	2022.06.20	B 轮	近亿美元
技术服务	通用生物	通用生物是基因组研究和基因技术应用的生物技术公司，提供优质、高效的科研级、工业级和诊断司法级应用的修饰/标记（探针）、RNA、多肽定制化合成服务	2022.06.29	PrelIPO	1 亿元人民币
	擎科生物	擎科生物从事合成基因组学与生物合成产品的研究及开发，业务范围涵盖合成基因组学产品及服务、生命科学研究设备及原料、生物制造 CRO/CDMO 三大方向	2022.12.05	B 轮	4 亿元人民币
	新芽基因	新芽基因是国内首家致力于利用碱基编辑技术进行全身性给药的基因治疗药物研发公司	2022.12.07	A 轮	数千万美元

资料来源：新道蓝谷，各公司官网，中信证券研究部

各国政府高度重视合成生物学，相继出台多项支持政策。近年来，合成生物学得到世界各国的高度重视，全球主要国家政府陆续出台合成生物学相关扶持政策，国际合成生物学科研究和产业发展十分迅猛。全球主要国家相继建立合成生物学研究中心，形成了遍布全球的合成生物学研究网络，以美国、英国为主导的国外发达国家在合成生物学研究领域发展进程较快。欧盟最早通过第六研究框架计划从政策层面、以项目资助的方式促进合成生物学发展，法国、德国等成员国针对合成生物学及相关技术分别制定了针对本国的研究发展战略。英国政府于 2012 年和 2016 年相继发布《合成生物学路线图》和《英国合成生物学战略计划》，是首个在国家层面通过路线图方式推动合成生物学发展的国家。美国从多个维度来推动合成生物学的发展，自 2019 年开始连续 3 年发布了《工程生物学：下一代生物经济的研究路线图》、《微生物组工程：下一代生物经济研究路线图》和《工程生物学与材料科学：跨学科创新研究路线图》等合成生物学相关领域的研究路线图。中国政府也高度重视合成生物学的发展，2008 年香山会议首次探讨了合成生物学背景、进展和展望，并连续多年开展了合成生物学专题学术讨论，2022 年《“十四五”生物经济发展规划》明确将合成生物学列为重点发展方向。

表 7：全球合成生物学战略布局演进

年份	国家/地区/组织	政策/文件/行动
2002	欧盟	《第六研究与创新框架计划》
2003	MIT (美国)	创办首届 iGEM 竞赛
2007	欧盟	启动“合成生物学：新出现的科学技术”引导项目；《第七研究与创新框架计划》
2008	中国	《国家中长期科学与技术发展规划纲要》
2009	德国	《合成生物学机遇与风险》
2009	英国	《合成生物学范围、应用和意义》
2009	法国	《国家研究与创新战略》
2009	美国	《创新战略》
2010	美国	《新方向合成生物学和新兴技术的伦理问题》
2010	德国	《国家生物经济研究战略》
2010	中国	《“973” 国家重点基础研究发展计划》
2011	英国	《合成生物学的跨国监管》
2011	中国	《“十二五” 生物技术发展规划》；《“十二五” 现代生物制造科技发展专项规划》
2012	英国	《合成生物学路线图》
2012	美国	《国家生物经济蓝图》
2013	中国	《国家重大科技基础设施建设中长期规划》
2014	OECD	《合成生物学政策新议题》
2014	欧洲	《合成生物学下一步行动》
2014	德国	《国家生物经济政策战略》
2015	中国	《合成生物学发展战略》
2015	中国	《“十三五” 国家科技创新规划》
2015	印度	《国家生物技术发展战略》
2016	英国	《合成生物学战略计划》
2016	中国	《“十三五” 生物技术创新专项规划》
2017	法国	《生物经济战略：2018-2020 年行动计划》
2018	美国	《合成生物学时代的生物防御》
2018	澳大利亚	《合成生物学 2030 年的展望》
2018	英国	《2030 年生物经济战略》
2018	中国	《国家重点研发计划“合成生物学”重点专项》
2019	美国	《加强基因合成的安全性治理建议》；《合成生物学产业实践、生物安全机遇以及政府潜在作用》；《工程生物学：下一代生物经济的研究路线图》
2019	英国	《生物技术领域实施计划》
2019	日本	《生物战略》
2019	俄罗斯	《基因技术发展规划》
2019	韩国	《生物健康产业创新战略》
2020	美国	《微生物组工程：下一代生物经济研究路线图》
2020	德国	《国家生物经济战略》
2021	美国	《生物经济格局：生物技术、合成生物学和工程生物学机遇》；《工程生物学与材料学科：跨学科创新研究路线图》
2021	欧盟	《新基因组技术当前和未来的市场应用》
2022	中国	《“十四五” 生物经济发展规划》
2022	中国	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030 年）》
2022	美国	《芯片与科学法案》
2022	美国	《国家生物技术和生物制造计划》
2023	中国	《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》

资料来源：《全球合成生物学发展现状及对我国的启示》（王晓梅，杨小微，李辉尚），中国政府网，工信部，中信证券研究部

2022 年以来国内出台三项合成生物学相关重要政策。2022 年 5 月 10 日，国家发改委印发了《“十四五”生物经济发展规划》，指出合成生物学作为前沿生物技术，要加强原创性、引领性基础研究，推动合成生物学技术创新，突破生物制造菌种计算设计、高通量筛选、高效表达、精准调控等关键技术，有序推动在新药开发、疾病治疗、农业生产、物质合成、环境保护、能源供应和新材料开发等领域应用。2022 年 8 月 18 日，科技部等九部门联合印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》，其中前沿颠覆性低碳技术创新行动中涉及到新型绿色氢能技术、二氧化碳高值化转化利用技术，需要以合成生物学为基础进行创新。2023 年 1 月 9 日工信部等六部门联合印发了《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》，提出以非粮生物质开发利用技术突破为基础，深化生物化工与传统化工耦合、工业与农业融合，以技术、模式创新为动力，促进生物基材料高性能、降成本、增品种、扩应用，提升生物基材料产业协同创新、规模生产、市场渗透能力，推动非粮生物基材料产业加快创新发展。

初创公司面临“考核期”，合成生物学料即将迎来加速发展。在资本市场和各国政策的孵化下，合成生物学初创公司如雨后春笋般出现，但是他们的“蜜月期”马上将要结束，投资者的关注点从概念和故事转向产品的落地，我们预计在这个过程中将有众多初创公司被淘汰，存活下来的公司也需要不断去研发和落地新产品来支撑估值，最终脱颖而出的初创公司或许会成为新的标杆。预计未来，越来越多的初创公司会登陆二级市场，越来越多的上市公司会布局合成生物学相关领域，在机遇和挑战当中，合成生物学赛道将迎来加速发展。

看好中国生物制造企业竞争力，影响估值的核心因素是成长性

国外企业集中在美国，上中游环节较多且领先。Amyris 和 Ginkgo Bioworks 是国外合成生物学企业的标杆：Amyris 是合成生物学领域第一家在纳斯达克上市（2010 年）的企业，同时也是平台型公司的鼻祖和典型代表，经过长期的产业探索，其逐步成为颇有影响力的法尼烯和长链碳氢化合物生产商。另一家代表性公司是 Ginkgo Bioworks，2021 年 5 月宣布以 175 亿美元的价格通过 SPAC 方式正式上市，2022 年完成对 Zymergen 的收购以整合 Zymergen 强大的自动化和软件能力，以及其在多种生物工程方法上的丰富经验，来显著增强 Ginkgo Bioworks 的合成生物学平台。除此之外，其他合成生物学企业也大多来自美国。整体上看，国外使能技术类、平台类合成生物学企业较多且技术领先。

表 8：部分国外合成生物学企业

领域	公司	国家	简介
平台类	Ginkgo Bioworks	美国	Ginkgo Bioworks 依靠其自动化的菌株开发工程、蛋白质工程和发酵工程平台，能够高通量开发和评估微生物菌株，为客户提供基于微生物菌株的解决方案
	Amyris	美国	Amyris 通过建立生物铸造厂将特意设计的基因线路自动化装载到活细胞中，并辅以高通量测试，利用机器学习技术运行 DBTL 周期循环，来实现工程化的海量试错以加速设计周期；Amyris 同样注重产品，服务于香精香料、化妆品、药品和营养保健品市场
	Inscripta	美国	Inscripta 基于 CRISPR 基因编辑原理开发出一类 CRISPR 酶家族 MADzymes，并借此建立全球首个数字化基因组工程台式平台 Onyx
DNA/RNA 合成	Twist Bioscience	美国	Twist 建立了高通量、低成本的新一代硅基 DNA 合成平台，可以大量合成高质量的 DNA 片段及基因，用于药物开发实验和临床诊断等场景
	Synthego	美国	Synthego 基于生物信息学、机器学习和自动化，开发了一套自动化合成 RNA 的系统，用于打造 CRISPR 工具包和 sgRNA 文库，以服务制药行业的客户
	DNA Script	法国	DNA Script 是酶促 DNA 合成技术的行业领导者，主要利用无模板酶技术来制造和合成 DNA，

领域	公司	国家	简介
			现已研发出世界上第一台使用酶促技术的台式 DNA 打印机 SYNTAX
软件	Benchling	美国	Benchling 为研究人员提供用于设计和运行各种生命科学实验的平台, 该平台可进行实验数据分析和共享研究结果
	Synthace	英国	Synthace 构建了一个云软件平台 Antha, 这是一种计算机辅助的生物学软件平台, 可以对实验室的设备、协议及工艺流程进行自动化编程, 形成可共享及扩展的工作流
医疗健康	Moderna	美国	Moderna 开发的 mRNA-1273 在 25d 内完成了 COVID-19 疫苗的序列设计和生产, 并破纪录地用 63d 完成从序列设计到首个受试者给药
	Antheia	美国	Antheia 通过酵母发酵来生产阿片类药物分子
	Demetrix	美国	Demetrix 将目标瞄向了大麻素, 正在利用改造后的酵母探索 100 多种大麻素的产业化生产
	Genomatica	美国	Genomatica 已将生物基 1, 4-丁二醇和丁二醇的工艺商业化
化工	CinderBio	美国	CinderBio 的主要产品是一种超稳定酶, 该酶由在酸性火山热泉中提取培养的微生物制成, 在高温高酸等苛刻场景中仍然具有高活性
	C16 Biosciences	美国	C16 Biosciences 主要利用微生物发酵生产棕榈油的替代品
能源	LanzaTech	美国	LanzaTech 主要利用细菌将钢厂或垃圾填埋场等排放的二氧化碳、甲烷等废气转化为燃料和化学品
农业	Pivot Bio	美国	Pivot Bio 研发出针对玉米作物的微生物固氮产品—促使特定的微生物在作物根部释放氮, 以满足作物日常氮需求
食品	Impossible Foods	美国	Impossible Foods 通过改造后的酵母发酵生产豆血红蛋白, 用于制作植物肉产品, 使植物肉的味道和颜色更像真肉
消费品	Modern Meadow	美国	Modern Meadow 通过改造后的酵母发酵生产胶原蛋白, 继而在此基础上加工制作出皮革

资料来源:《全球合成生物行业发展前沿分析》(邱伟龙, 廖秀灵, 罗巍等),《合成生物学产业发展与投融资战略研究》(曾正阳, 刘心宇, 马铭驹), 各公司官网, 中信证券研究部

中国主要是产品类公司, 商业化成功案例较多。凯赛生物和华恒生物是国内合成生物学企业的标杆: 凯赛生物以石油中的副产物正烷烃为原料, 采用微生物发酵的方法生产长链二元酸, 显著降低了成本和污染, 是世界上首个使用生物法产品取代石油化学法产品的商业成功案例; 华恒生物突破厌氧发酵技术瓶颈, 在国际上首次成功实现了微生物厌氧发酵规模化生产 L-丙氨酸产品, 是行业内拥有厌氧发酵法生产 L-丙氨酸完整知识产权的优势企业之一。此外, 巨子生物、轩凯生物、引航生物、首钢朗泽等一众国内产品类公司都取得了单个或多个合成生物学产品商业化的成功。

表 9: 部分国内合成生物学企业

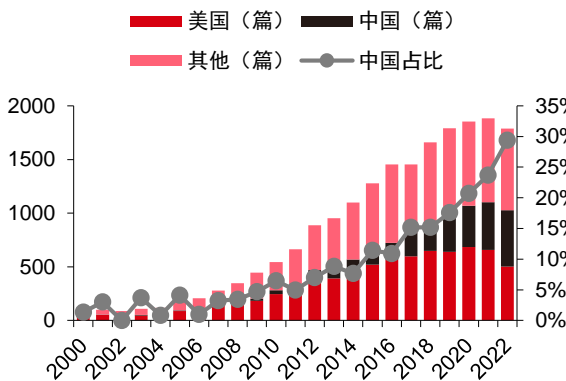
领域	公司	简介
平台类	恩和生物	恩和生物侧重开发自动化、高通量的工业生物研发平台, 其品类涵盖医药、化工、食品等多个领域
	蓝晶微生物	蓝晶微生物的研发平台覆盖了分子结构设计、微生物菌株开发、小试与中试生产、材料改性加工等实现产品定制化开发所必需的全部环节, 其主打的生物可降解材料产品—PHA 已完成了落地
DNA/RNA 合成	金斯瑞生物科技 (1548.HK)	金斯瑞生物科技为全球广受认同的生命科学研究与应用服务及产品供货商, 于全球基因合成服务市场中位居第一及于全球 DNA 合成服务市场中位居第三, 分别占 25.6%及 10.6%的市场份额
	泓迅科技	泓迅科技专注于新一代 DNA 技术及其应用, 现已逐步建立起从寡核苷酸、DNA 片段到染色体/基因组合成和构建的完整的合成生物学平台
医疗健康	百葵锐生物	百葵锐生物致力于合成生物学技术在医药领域高效生物合成, 建立蛋白精准设计和蛋白分子机器技术的全态链合成生物学平台, 以实现生物医药、生物材料的创新、高效、绿色制造
	引航生物	引航生物专注于合成生物学领域应用的创新研究, 从事医药、营养保健及动物保健产品工业生物技术的研发、生产及销售, 旨在实现重要化学品的生物制造, 为相关领域企业提供生物制造的产品
	金坤生物	金坤生物是一家致力于生物医用高分子材料及高端医疗器械研发、生产、销售的集团型公司, 主攻第四代生物医用材料聚左旋乳酸 (PLLA, 即童颜针主要材料)、聚乙丙交酯、聚己内酯的研发、生产与销售, 尤其专注于 PLLA 在医疗美容和生活美容领域的应用和产业化
化工	凯赛生物 (688065.SH)	凯赛生物目前实现商业化生产的产品主要聚焦聚酰胺产业链, 为生物基聚酰胺以及可用于生物基聚酰胺生产的原料, 包括 DC12 (月桂二酸)、DC13 (巴西酸) 等生物法长链二元酸系列产品和生物基戊二胺, 是全球领先的利用生物制造规模化生产新型材料的企业之一
	华恒生物 (688639.SH)	华恒生物坚持“以可再生生物资源替代不可再生石化资源, 以绿色清洁的生物制造工艺替代高能耗高污染的石化工艺”的发展路径, 当前主要产品包括丙氨酸系列和 L-缬氨酸, 同时有数个新产品产能在建
	酶赛生物	酶赛生物擅长酶和菌种相关的催化技术, 专业的技术团队在酶的进化、菌种改造、酶的发酵、产业化生

领域	公司	简介
		产等方面都有丰富的经验
能源	首钢朗泽	首钢朗泽自主研发合成生物学技术将含 CO、CO ₂ 的工业尾气转化为生物乙醇及饲料蛋白等高价值产品，将无机碳和氮直接转化为有机碳和氮，实现工业体系重塑
农业	轩凯生物	轩凯生物立足于工业生物技术、合成生物学的持续研发和产业化，主要产品为生物助剂产品和生物制剂产品，应用于植物营养领域、动物营养领域和日化领域
食品	昌进生物	昌进生物聚焦在微生物合成蛋白的研究、开发、产业化
消费品	嘉必优 (688089.SH)	嘉必优以生物技术为立足之本，集成工业菌种定向优化技术、发酵精细调控技术、高效分离纯化制备技术，通过可持续的微生物合成制造方式，为全球营养与健康领域的客户提供高品质的营养素产品与创新的解决方案
	巨子生物 (2367.HK)	巨子生物研发、生产、销售以重组胶原蛋白为核心成分的专业皮肤护理产品，同时开发和生产基于稀有人参皂苷技术的功能性食品

资料来源：各公司公告，各公司官网，中信证券研究部

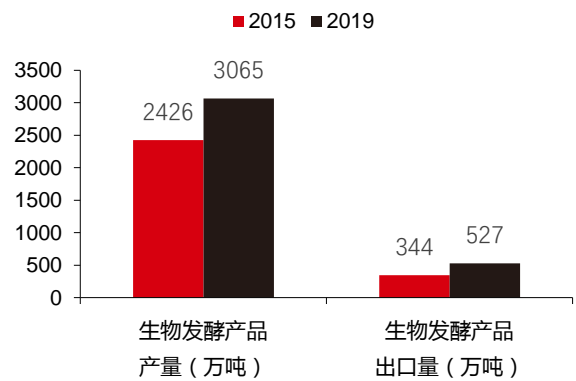
得益于理论研究和产业基础，看好中国生物制造企业竞争力。简单来讲，生物制造的成功关键在于菌种设计和构建、大规模发酵工艺两点，前者取决于合成生物学的理论研究，后者取决于发酵产业的能力。根据 Web of Science，核心合集中以合成生物学为主题的全球论文发表量自 2000 年开始不断增加，其中中国论文发表量自 2008 年开始快速增加，2022 年中国占比已经超过美国，位居世界第一。根据中国生物发酵产业协会，中国生物发酵产品的产量由 2015 年的 2426 万吨提升至 2019 年的 3065 万吨，出口量由 2015 年的 344 万吨提升至 2019 年的 527 万吨，我国生物发酵产品中氨基酸、有机酸、淀粉糖及多元醇等产能和产量多年稳居世界第一位。因此，得益于深厚的理论研究和坚实的产业基础，我们现阶段看好中国生物制造企业的竞争力。

图 41：WOS 核心合集中以合成生物学为主题的论文发表数量



资料来源：Web of Science，中信证券研究部

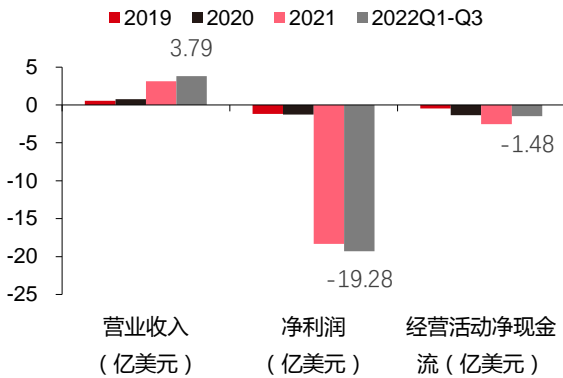
图 42：2015 年和 2019 年中国生物发酵产品的产量和出口量



资料来源：中国生物发酵产业协会，中信证券研究部

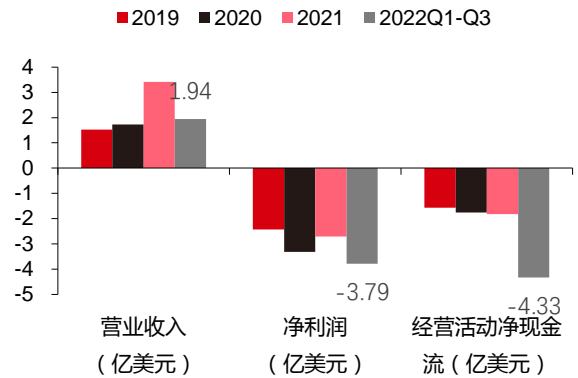
美国平台类公司经营情况不佳，中国产品类公司稳定增长。由于研发投入和包括股权激励在内各类费用导致营业支出过高，2019 年至 2022Q1-Q3，Ginkgo Bioworks 和 Amyris 的净利润和经营活动净现金流均为负值，相比之下凯赛生物和华恒生物的归母净利润和经营活动净现金流整体呈增长态势。美国平台类龙头公司财务表现远差于中国产品类龙头公司，再次验证我们“当前阶段产品类公司更佳”的判断。

图 43: Ginkgo 的营业收入、净利润和经营活动净现金流



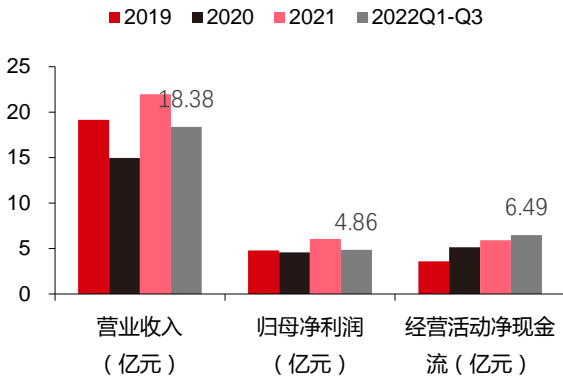
资料来源: Ginkgo Bioworks 公司公告, 中信证券研究部

图 44: Amyris 的营业收入、净利润和经营活动净现金流



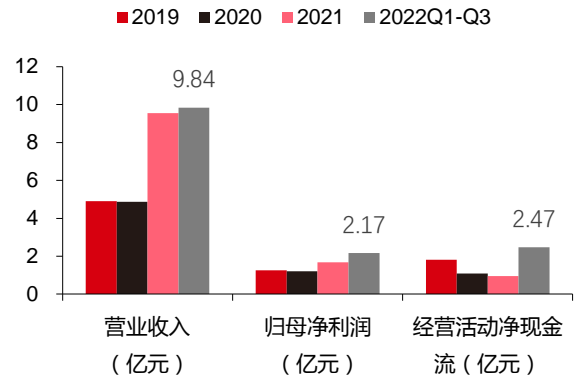
资料来源: Amyris 公司公告, 中信证券研究部

图 45: 凯赛生物的营业收入、净利润和经营活动净现金流



资料来源: 凯赛生物公司公告, 中信证券研究部

图 46: 华恒生物的营业收入、净利润和经营活动净现金流



资料来源: 华恒生物公司公告, 中信证券研究部

美国平台类公司的股价和估值对国内产品类公司不具备参考价值。2008 年初 Amyris 计划以甘蔗为原料每年生产 10 亿加仑的生物燃料, 每桶价格可低至 60 美元, 然而原油价格暴跌、页岩油开采的商业化落地以及其自身产业化不达预期使得 Amyris 股价暴跌。2021 年 Ginkgo Bioworks 以 175 亿美元的价格通过 SPAC 方式正式上市, 如今市值约缩水为 1/5。平台类公司享受了各种概念和投资故事的估值溢价, 在没有如预期般兑现业绩后, 泡沫必然破裂, 相较之下国内的产品类公司的商业模型更加稳健, 因此美国平台类公司的股价和估值对国内产品类公司来说不具备参考价值。

图 47: Amyris 的历史股价



资料来源: Wind, 中信证券研究部

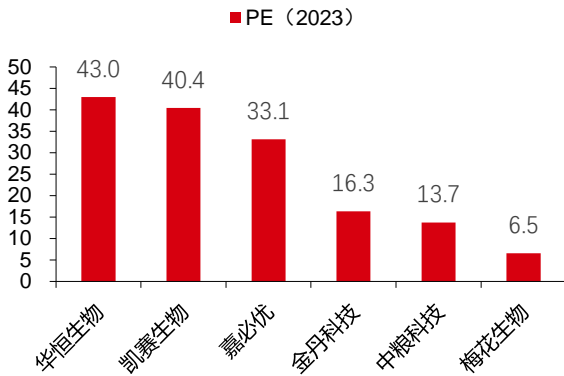
图 48: Ginkgo Bioworks 的历史股价



资料来源: Wind, 中信证券研究部

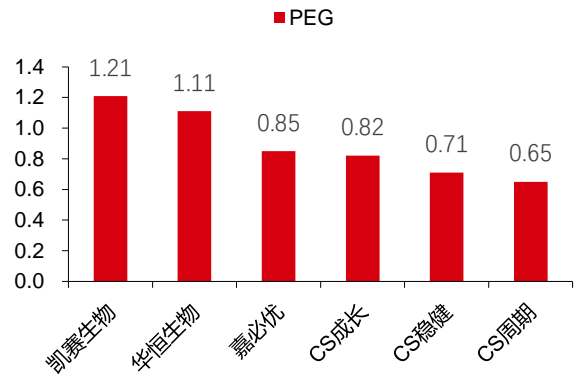
中国产品类公司的高估值本质是成长逻辑。截至 2023 年 1 月 20 日, 合成生物学公司华恒生物、凯赛生物、嘉必优的 PE (2023) 分别为 43.0、40.4、33.1, 显著高于传统发酵公司金丹科技、中粮科技、梅花生物, 我们认为产品类公司的高估值是有业绩增速支撑的, 按照 $PEG = PE(2023) / g(2022E-2024E)$ 计算, 华恒生物、凯赛生物、嘉必优的 PEG 分别为 1.11、1.21、0.85, 高于 CS 成长板块公司 PEG 的平均值 0.82 且在其中位于前列, 国内产品类公司的高估值本质是成长逻辑。

图 49: 合成生物学公司和传统发酵公司的估值对比



资料来源: Wind, 中信证券研究部 注: 股价为 2023 年 1 月 20 日收盘价, 盈利预测采用 Wind 一致预期

图 50: 合成生物学公司 PEG 和 CS 风格类别板块平均 PEG 对比



资料来源: Wind, 中信证券研究部 注: $PEG = PE(2023) / g(2022E-2024E)$, 股价截至 2023 年 1 月 20 日, 盈利预测采用 Wind 一致预期, CS 风格类别板块中剔除无盈利预测和负 PEG 个股后求算术平均值

投资建议遵循“低成本替代+高技术壁垒+开发新产品的潜力”三条主线

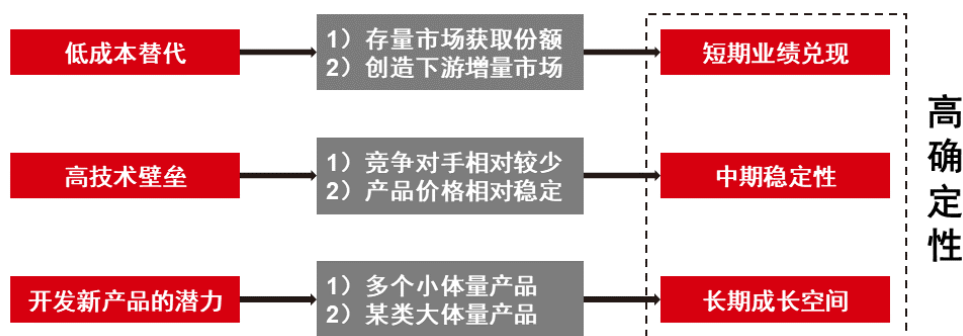
低成本替代、高技术壁垒和开发新产品的潜力是生物制造的三大核心优势：

1) **低成本替代**：根据麦肯锡，原则上全球经济物质投入中的 60%可由生物产生，其中大约 1/3 是从自然界中提取的，另外约 2/3 是通过化学方法合成。无论是用生物制造替代天然提取还是化学合成，其关键均在于成本优势，低成本是在存量市场竞争中快速获取份额的核心竞争力，也是促进下游需求、创造增量市场的驱动力。低成本替代是生物制造公司短期业绩兑现的关键。

2) **高技术壁垒**：相比传统发酵工程中对菌种的培育和改造手段，合成生物学利用先进的模块和系统设计以及新的基因组编辑方法，对模式工程菌中复杂的代谢途径进行工程化改造，涉及基因编辑工具（CRISPR/Cas 技术）、基因组合成方法、定向进化技术等前沿生物技术和基因技术，整体上看新菌种的研发需要大量时间、资金的投入，壁垒较高，行业竞争格局相对不易恶化。高技术壁垒是生物制造公司中期稳定性的保证。

3) **开发新产品的潜力**：随着医药、食品、化学品等领域产品需求的多元化，天然存在的微生物中缺乏所需产物的代谢途径，或其代谢途径调控复杂，所需产物难以实现过量积累，而通过合成生物学构建高效的细胞工厂能够拓宽微生物的生产领域和提升微生物生产效率。越来越多利用生物学创造的新颖材料具有高品质、全新功能、可生物降解，以及通过显著减少碳排放方式生产等特性。例如，利用蘑菇根而不是动物皮毛制作皮革；用酵母代替石油化学生产塑料等。开发新产品的潜力打开生物制造公司的长期成长空间。

图 51：生物制造的三大核心优势



资料来源：中信证券研究部绘制

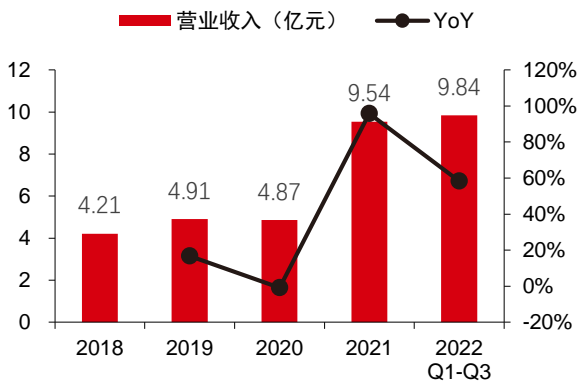
关注能够通过新产品和产能落地实现快速成长的生物制造公司。从生物制造龙头公司的发展路径来看，生物制造的三大核心优势贯穿始终。在发展早期阶段，生物制造公司通过某一合成生物学单品的落地，对化学法竞品实现低成本替代，并在这个过程中不断积累来提升前端菌种开发（自身研发能力、产学研结合资源）和后端发酵工艺的能力。得益于高技术壁垒和先发优势，生物制造公司往往能在所在行业取得较高的市场份额并维持，但是其所在行业体量可能无法支撑公司持续发展壮大，因此生物制造公司在充分积累后，会通过开发新产品的方式来拓宽业务线，如华恒生物的缬氨酸、D-泛酸钙、1, 3-丙二醇、丁二酸、苹果酸等，凯赛生物的生物基尼龙 5X 系列产品等，而决定新产品能否成功的因素又回到了低成本替代和高技术壁垒。综上，我们认为投资生物制造公司的核心在于判断其新产品能否实现低成本替代、能否形成壁垒，分析新产品和产能带来的成长确定性。

重点公司分析

华恒生物：产学研结合+产业化能力打造多产品管线

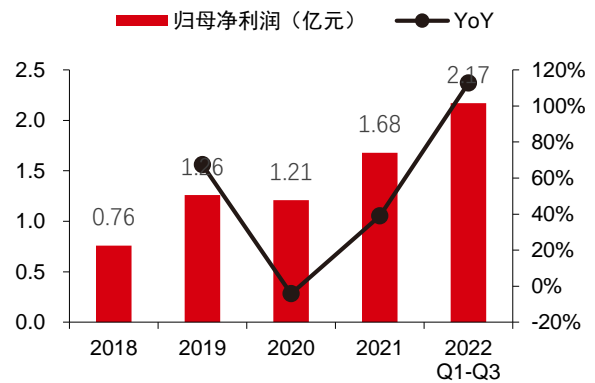
华恒生物是全球领先的小品种氨基酸供应商。华恒生物是一家以合成生物学技术为核心，通过生物制造方式，主要从事生物基产品，如氨基酸和维生素产品研发、生产、销售的高新技术企业，主要产品包括丙氨酸系列产品（L-丙氨酸、DL-丙氨酸、β-丙氨酸）、L-缬氨酸、D-泛酸钙和熊果苷（α-熊果苷和β-熊果苷）等，可广泛应用于日化、医药及保健品、食品添加剂、饲料等众多领域。经过多年的创新发展，华恒生物已经成为全球领先的通过生物制造方式规模化生产小品种氨基酸产品的企业之一。2021年华恒生物L-缬氨酸产品开始放量，对收入和利润形成明显贡献，2022年Q1-Q3华恒生物实现营业收入9.84亿元，同比增长58.4%；实现归母净利润2.17亿元，同比增长112.6%。根据其2022年度业绩预增公告，华恒生物预计2022年实现归母净利润3.00-3.25亿元，同比增长78.3%-93.2%。

图 52：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 华恒生物营业收入及增速



资料来源：华恒生物公司公告，中信证券研究部

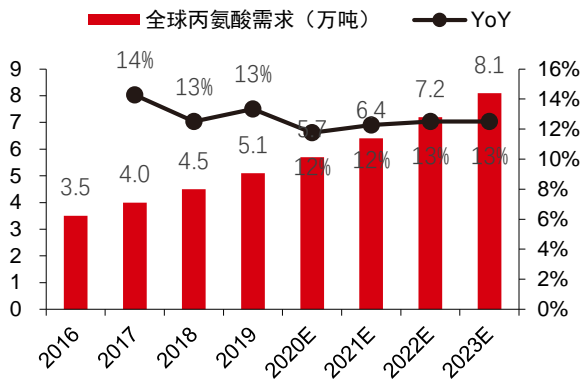
图 53：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 华恒生物归母净利润及增速



资料来源：华恒生物公司公告，中信证券研究部

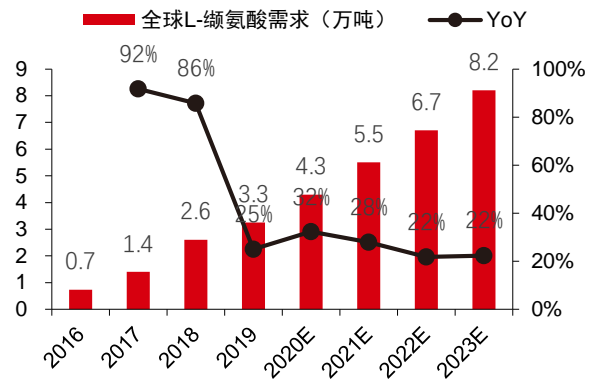
华恒生物实现 L-丙氨酸和 L-缬氨酸的厌氧发酵生产，奠定细分领域龙头地位。日化领域的需求量占 L-丙氨酸总需求量的 50%以上，受益于 MGDA 市场快速发展，丙氨酸需求保持 10%以上增速。华恒生物突破厌氧发酵技术瓶颈，在国际上首次成功实现了微生物厌氧发酵规模化生产 L-丙氨酸产品，全球市占率约 50%。L-缬氨酸主要应用于饲料及保健品领域，近年来由于饲料原料如豆粕价格升高等因素，氨基酸精确配方饲料迎来了很大发展，L-缬氨酸在饲料里的添加量大幅增长，L-缬氨酸需求保持 20%以上增速。华恒生物实现厌氧发酵法生产 L-缬氨酸技术，菌种性能高效，发酵技术先进，产能位居行业前列，市场占有率逐步提升。

图 54：全球丙氨酸市场需求及增速预测



资料来源：中国生物发酵产业协会（含预测），中信证券研究部

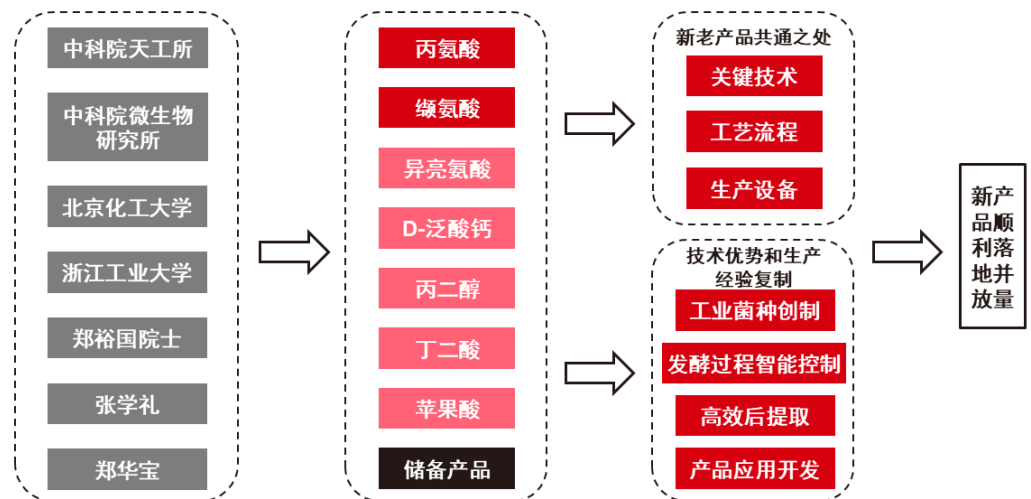
图 55：全球 L-缬氨酸市场需求及增速预测



资料来源：中国生物发酵产业协会（含预测），中信证券研究部

华恒生物通过产学研结合+产业化能力打造多产品管线。华恒生物坚持和发展已有的产学研相结合的技术合作创新模式，与中科院天工所、中科院微生物研究所、北京化工大学、浙江工业大学等高校科研机构建立长期的合作关系，在新产品研发方向上，华恒生物坚持“成本优势”和“绿色低碳”两大原则，一方面继续在氨基酸领域横向拓展（异亮氨酸）、纵向延伸（D-泛酸钙），发挥自身一体化优势；另一方面进入到体量更大的化工新材料等领域（1, 3-丙二醇、丁二酸、苹果酸），并向产业链上游延伸，从玉米深加工做起，实现核心原材料葡萄糖的自产。华恒生物拓展的生物制造新产品与核心产品丙氨酸、缬氨酸的厌氧发酵法相比，在关键技术、工艺流程、生产设备等方面有着诸多共通之处，华恒生物可以将既有的工业菌种创制、发酵过程智能控制、高效后提取、产品应用开发环节等技术优势和生产经验复制于新产品的工业化生产过程，形成与现有主要产品的协同发展。

图 56：华恒生物多产品管线研发和落地模式



资料来源：华恒生物公司公告，中信证券研究部

华恒生物现有产能规划有望实现约 60 亿元收入，成长确定性较高。我们预计 2023 年公司 1.6 万吨三支链氨基酸（缬氨酸和异亮氨酸）项目和 7000 吨 β-丙氨酸衍生物（D-泛酸钙）项目将投产，2024 年 5 万吨 1, 3-丙二醇、丁二酸、苹果酸项目投产，当前已有产能和规划产能的 7 个主要产品 2025 年对应市场空间约 200 亿元，华恒生物现有产能规划有望取得 30% 市场份额，即对应约 60 亿元收入，未来的成长空间、路径和速度的确定性较高。

表 10：华恒生物产品管线梳理

产品	应用领域	产能情况	行业需求	竞争格局	
丙氨酸	新型绿色螯合剂 MGDA（收入占比超 50%）、维生素 B6 以及食品添加剂	当前超 3 万吨，预计 2023 年有 7000 吨 β-丙氨酸产能投产	当前全球需求约 7 万吨，市场规模约 12 亿元，预计未来增速约 10%	2022 年全球市场份额约 50%，竞争对手包括丰原生化、烟台恒源等	
	DL-丙氨酸				食品调味剂
	β-丙氨酸				维生素 B5 及保健品
缬氨酸	饲料及保健品	当前超 3 万吨，预计 2023 年投产的 1.6 万吨三支链氨基酸产能中大部分用于缬氨酸生产	当前全球需求约 7 万吨，市场规模约 15 亿元，预计未来增速超 20%	2022 年全球市场份额约 40%，竞争对手包括韩国希杰、梅花生物和宁夏伊品等	
D-泛酸钙	饲料添加剂（75%）、食品添加剂（15%）、医药（10%）	当前产能 300 吨，预计 2023 年 7000 吨产能投产	当前全球需求超 2 万吨，价格波动较大	竞争对手包括亿帆医药、新发药业、兄弟科技等，预计新产能投产后将面临较为激烈的竞争	
异亮氨酸	饲料添加剂、营养补剂	预计 2023 年投产的 1.6 万吨三支链氨基酸产能中大部分用于异亮氨酸生产	当前全球需求约 2 万吨，市场规模约 10 亿元	竞争对手包括味之素、赢创、阜丰生物等	
1, 3-丙二醇	PTT（80%）、化妆品、医药等	预计 2024 年 5 万吨产能投产	当前全球需求约 10 万吨，市场规模约 30 亿元，随着更多 1, 3-丙二醇产能和 PTT 产能投产，预计全球需求将快速增长	华峰集团（收购原杜邦产线）份额约 80%，其他竞争对手包括清大智兴	
丁二酸	PBS（超 50%）、BDO、食品、医药、农业	预计 2024 年 5 万吨产能投产	国内丁二酸需求量约 3-5 万吨，预计 2025 年将超过 20 万吨	化学法和发酵法并存，发酵法竞争对手包括山东兰典	
苹果酸	食品饮料（超 80%）、医药、化工	预计 2024 年 5 万吨产能投产	当前全球需求超 10 万吨，市场规模超 20 亿元，对柠檬酸有较大的替代潜力	当前全球苹果酸产量大部分来自于化工合成法，发酵法替代趋势明显	

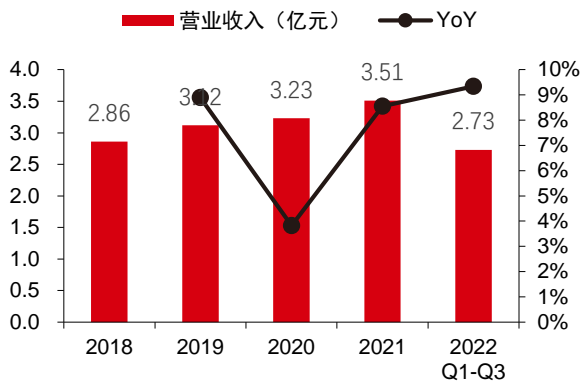
资料来源：华恒生物公司公告，中信证券研究部预测

风险因素：D-泛酸钙价格波动；行业竞争加剧；原材料价格波动；公司新产品研发进度或市场推广不及预期。

嘉必优：新国标落地+帝斯曼专利到期，配方奶粉营养素龙头启航

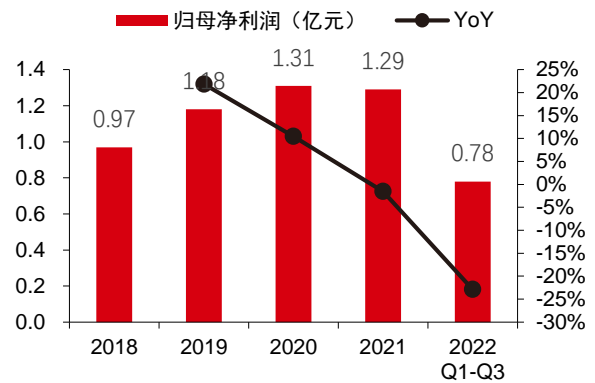
嘉必优是国内婴幼儿配方奶粉营养素龙头。嘉必优以生物技术为立足之本，集成工业菌种定向优化技术、发酵精细调控技术、高效分离纯化制备技术，通过可持续的微生物合成制造方式，为全球营养与健康领域的客户提供高品质的营养素产品与创新的解决方案。嘉必优的主营业务包括多不饱和脂肪酸 ARA 和藻油 DHA 以及 SA、天然 β-胡萝卜素等多个系列产品的研发、生产与销售，产品广泛应用于婴幼儿配方食品、膳食营养补充剂、营养健康食品、特殊医学用途配方食品、宠物营养食品、经济动物饲料以及个人护理及化妆品等领域。2018 年至 2022 年 Q1-Q3 嘉必优营业收入稳健增长，由于原材料涨价、产品降价、客户和业务结构变化等因素毛利率有所下滑，导致 2021 年和 2022 年 Q1-Q3 归母净利润承压。我们预计随着募投项目 2023 年投产爬坡，嘉必优业绩有望快速释放。

图 57：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 嘉必优营业收入及增速



资料来源：嘉必优公司公告，中信证券研究部

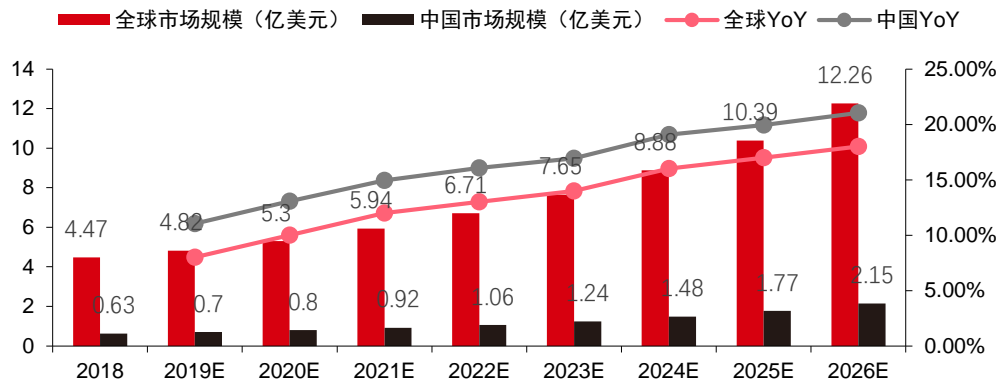
图 58：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 嘉必优归母净利润及增速



资料来源：嘉必优公司公告，中信证券研究部

嘉必优市场份额提升空间巨大。ARA 及藻油 DHA 对于婴幼儿的大脑和视网膜发育具有重要的意义，已经成为全球婴幼儿配方奶粉企业普遍选择添加的营养素，因此婴幼儿配方奶粉行业对于 ARA 和藻油 DHA 的持续需求将为行业市场容量增长奠定良好的基础。根据 Coherent Market Insights 预计，2026 年全球及中国 ARA 和藻油 DHA 的市场容量分别将达到 12.26 亿美元和 2.15 亿美元，分别对应 2018-2026 年 CAGR 为 13.45% 和 16.47%。目前嘉必优 ARA 及藻油 DHA 产品在全球市场的份额不到 10%，与行业龙头帝斯曼仍然存在较大的差距，随着募投项目 2023 年如期投产爬坡，嘉必优市占率有望提升。

图 59：全球及中国 ARA 和藻油 DHA 市场规模及增速



资料来源：Coherent Market Insights（含预测），中信证券研究部

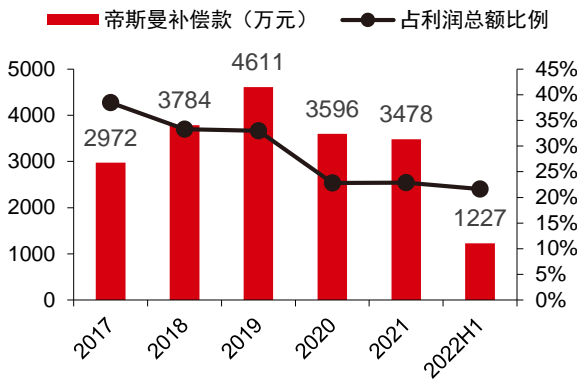
新国标落地+帝斯曼专利到期打开国内外市场空间，募投项目投产短期放量确定性强。 2021 年 3 月 18 日，婴幼儿配方食品新国家标准正式颁布，并将于 2023 年 2 月 22 日正式实施。相较于 2010 年标准，新国标对婴幼儿奶粉营养素的要求做了较大的调整，对在婴儿和较大婴儿配方食品中 DHA 的添加量新增了关于下限值的规定，即每 100kJ 食品中 DHA 添加量下限值为 3.6mg，提高了 DHA、ARA 添加量的上限值，明确 DHA 与 ARA 的比例不得低于 1:1。我们预测中国婴幼儿配方奶粉 ARA/DHA 市场规模有望受益于新国标实施而明显增长。嘉必优与帝斯曼就专利纠纷达成和解，嘉必优海外销售范围和数量受限制，但获得了帝斯曼的采购或者现金补偿的权利，并赢得了发展的时间。2023 年，帝斯曼 ARA 相关专利在各个国家的保护期均会到期，届时嘉必优生产和销售 ARA 产品将不再受到限制，有望迎来提高境外市场 ARA 份额的机会。预计嘉必优募投项目将于 2023 年 Q1 投产，ARA 和藻油 DHA 合计产能将翻倍，为短期放量提供产能基础。

表 11：2010 年国标和新国标对比

国家标准	产品	2010 标准 (mg/100kJ)	新国家标准 (mg/100kJ)
《食品安全国家标准婴儿配方食品》	ARA	≤14	DHA 添加量~19.1
	DHA	≤7	3.6~9.6
《食品安全国家标准较大婴儿配方食品》	ARA	≤14	DHA 添加量~19.1
	DHA	≤7	3.6~9.6
《食品安全国家标准幼儿配方食品》	ARA	≤14	≤19.1
	DHA	≤7	≤9.6

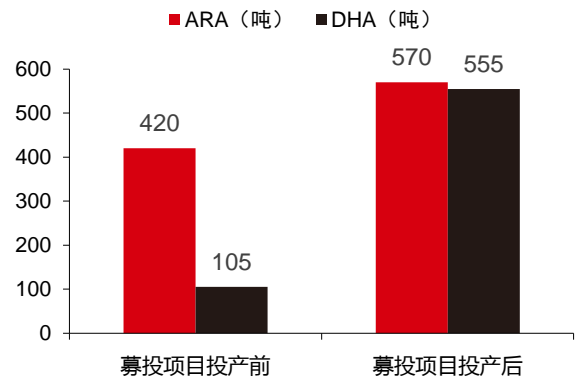
资料来源：食品安全国家标准（<http://www.nhc.gov.cn/spa/spaqqjbz/spaqq.shtml>），中信证券研究部

图 60: 帝斯曼补偿款情况



资料来源: 嘉必优公司公告, 中信证券研究部

图 61: 嘉必优 ARA 和藻油 DHA 产能情况



资料来源: 嘉必优公司公告, 中信证券研究部

以合成生物学为底层技术, 新产品布局丰富。嘉必优重点落地“三拓展”发展战略(即拓展产品品类、拓展产品应用领域、拓展产品市场区域), 着力构建“一主两翼”业务格局(“一主”即人类营养领域, “两翼”即动物营养领域、个人护理及化妆品领域), 截至2022年上半年, 基于构建的合成生物学技术平台, 嘉必优开展了 2'-FL、3'-SL、虾青素、依克多因、EPA、麦角硫因等高附加值产品的开发。

表 12: 嘉必优主要储备在研产品

应用领域	产品名称	研发进展
人体营养	HMOs	2'-FL 已完成中试, 获得 96%纯度的产品, 正在进行法规许可申报阶段, 3'-SL 已完成实验室全套工艺优化和验证, 正在进行中试前准备
	EPA	基于合成生物学技术平台开展产品开发
	OPO 结构脂	完成中试研究, 开始产业化推动
动物营养	裂壶藻粉	完成生产工艺优化及产品定型
	过瘤胃	完成产品定型
	虾青素	进入中试阶段, 并产出了虾青素菌体, 具备产业化基础
化妆品原料	α-熊果苷	基于地衣芽孢杆菌的 α-熊果苷合成项目底物转化效率达到行业领先水平, 正在进行中试前准备
	光甘草定	完成菌种构建
	依克多因	完成依克多因合成细胞工厂的构建
	γ-PGA	基于合成生物学技术平台开展产品开发
	麦角硫因	基于合成生物学技术平台开展产品开发

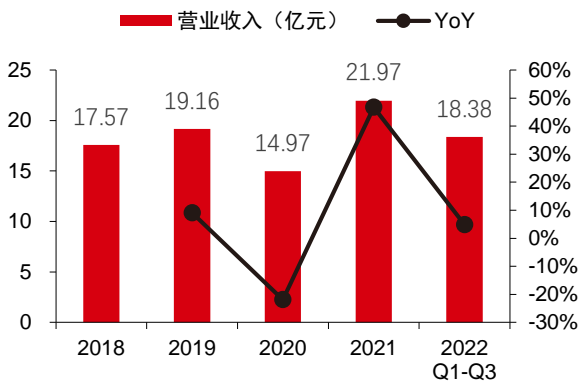
资料来源: 嘉必优公司公告, 中信证券研究部

风险因素: 下游需求不及预期; 行业竞争加剧; 原材料价格波动; 公司新产品研发进度或市场推广不及预期。

凯赛生物：深耕聚酰胺产业链，百万吨产能蓄势待发

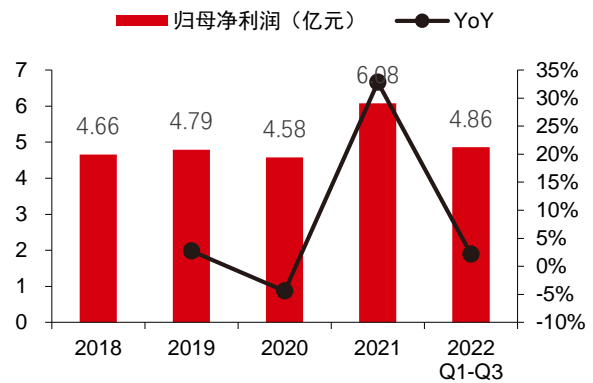
凯赛生物是全球领先的生物制造新材料企业。凯赛生物是一家以合成生物学等学科为基础，利用生物制造技术，从事新型生物基材料的研发、生产及销售的高新技术企业，是全球领先的利用生物制造规模化生产新材料的企业之一。凯赛生物通过生物制造方法生产长链二元酸系列产品，既能满足下游聚合要求的质量标准，同时经济性及绿色环保优势突出，在市场竞争中将以英威达为代表的传统化学法长链二元酸挤出市场。随着凯赛生物生物基戊二胺产业化技术的突破，通过生物基戊二胺与各种二元酸或二元酸的组合物缩聚，可生产系列生物基聚酰胺产品，包括 PA56、PA510、PA5X 等，进一步打开凯赛生物的成长空间。受到疫情反复、化工法聚酰胺降价等因素影响，凯赛生物的生物基聚酰胺市场开拓不及预期，2022 年 Q1-Q3 凯赛生物实现营业收入 18.38 亿元，同比增长 4.8%；实现归母净利润 4.86 亿元，同比增长 2.2%。

图 62：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 凯赛生物营业收入及增速



资料来源：凯赛生物公司公告，中信证券研究部

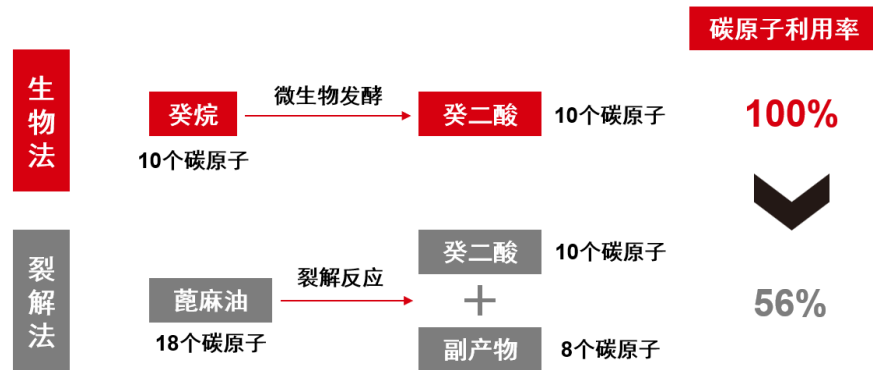
图 63：2018 年至 2022 年 Q1-Q3 凯赛生物归母净利润及增速



资料来源：凯赛生物公司公告，中信证券研究部

长链二元酸全球龙头，癸二酸投产进一步巩固领先地位。凯赛生物能够生产从十碳到十八碳的各种链长二元酸，主要下游应用是合成高性能长链聚酰胺，具备开拓多个潜在市场的能力。目前凯赛生物产品已经占有全球市场主导地位，除癸二酸以外的长链二元酸全球市场份额达 80%，与杜邦、艾曼斯、赢创、诺和诺德等主要下游客户建立了良好稳定的商业合作关系。同样是长链二元酸的癸二酸（DC10）全球市场需求高达 11 万吨，其传统生产方式为蓖麻油水解裂解制取，存在污染严重、原料依赖进口等问题，凯赛生物开发生物法制备癸二酸的工艺，生产工艺安全、环境友好，成本相对化学法大大降低，且产品纯度大大提高。2022 年 9 月底公司 4 万吨生物法癸二酸项目完成调试，生产线试生产的产品已经获得国内聚合应用客户的认可并开始形成销售，国际客户正在验收过程中。预计凯赛生物的生物法癸二酸将对化学法癸二酸形成替代，快速提升市场份额，成为新的业绩增长点。

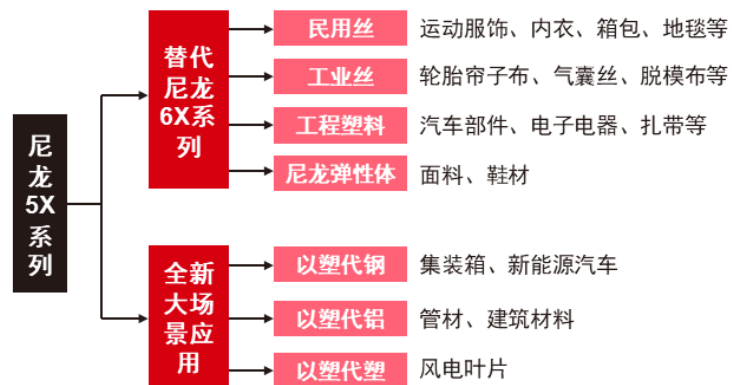
图 64：生物法癸二酸和裂解法癸二酸在生产中的碳原子利用率



资料来源：凯赛生物公司公告，中信证券研究部

凯赛生物聚焦生物基聚酰胺，积极探索下游应用。凯赛生物攻克生物基戊二胺的技术瓶颈后，便开始在生物基戊二胺的基础上开发生物基聚酰胺，2013年5000吨生物基聚酰胺生产线在山东金乡工厂成功完成产业化试验运行，其产品已被总后列为部队换装材料，科技部还为此设立了专项“国家支撑计划”。凯赛生物依托生物基聚酰胺产品打造应用于纺织领域的产品并命名为“泰纶”，可用于轻运动时尚服装、工服等领域；应用于工程材料的产品命名为“ECOPENT”，可用于电子电器、汽车零部件、扎带等领域；与涤纶共聚改性的产品命名为“赛纶”。生物基聚酰胺与连续玻璃纤维或者碳纤维制成的复合材料，正在多个领域进行应用开发和测试，有望进入“以塑代钢、以塑代铝、以塑代塑”用于替代金属、替代热固型材料的大场景应用阶段。

图 65：尼龙 5X 系列产品的应用场景



资料来源：凯赛生物公司公告，中信证券研究部

凯赛生物和山西政府共同打造“山西合成生物产业生态园区”，开创生物制造集群化的先河。2020年10月，凯赛生物与山西综改示范区签署《合作协议》，共同在山西综改示范区投资打造“山西合成生物产业生态园区”，目前年产4万吨生物法癸二酸项目已经投产，年产240万吨玉米深加工及500万吨生物发酵液项目、年产50万吨生物基戊二胺及90万吨生物基聚酰胺项目正在建设，我们预计2023年部分投产，产业园一期建设完毕后，将成为全球最具代表性的合成生物产业基地。产业园将重点构建“玉米加工—戊二胺—生物基聚酰胺—工业丝、民用丝”，“烷烃—长链二元酸—长链聚酰胺—特种尼龙”，“植物秸秆—木质素—生物树脂—生物碳纤维复合材料”，“农林废弃物—纤维素—乳酸—聚乳酸—生物降解塑料”等特色产业链，形成生物基化学品、生物环保材料、生物医用材料3个产业集群，引领全球的千亿级生物基绿色新材料产业发展。

表 13：凯赛生物主要产品的产能情况

主要产品	现有产能（万吨/年）	在建产能（万吨/年）	预计投产时间
生物法长链二元酸	7.5（DC11及以上）+4（癸二酸）		
生物基戊二胺	5	50	2023年部分投产
生物基聚酰胺	10.3（3000吨中试线）	90（生物基聚酰胺） 2（长链聚酰胺）	2023年部分投产（生物基聚酰胺） 2023年（长链聚酰胺）

资料来源：凯赛生物公司公告，中信证券研究部

风险因素：下游需求不及预期；原材料价格波动；公司新产品研发进度或市场推广不及预期。

其他布局合成生物学的公司

川宁生物：打造合成生物学一体化研发、生产型公司。川宁生物是国内生物发酵技术产业化应用规模较大的企业之一，是抗生素中间体领域规模领先、产品类型齐全、生产工艺较为先进的企业之一。川宁生物根据国际生物技术产业研发趋势和市场情况，在上海设立研究院聚焦合成生物学和酶工程领域的研发，着力开发绿色可持续的高附加值生物产品，向保健和化妆品原料中的高附加值天然产物（红没药醇、光甘草定）、生物农药、动物保健类产品、可降解生物基新材料及其他品类的医药中间体等方向发展。

金城医药：已经形成整条产业链的合成生物学平台。金城医药以生物研究院为基础，面向生物催化（酶催化）和生物合成（细胞工厂）两大主要方向，建设金城合成生物学研发平台，聚焦多手性催化和高难度化学合成的酶催化产品以及高附加值的生物合成产品。目前已经成功实现烟碱和培南类医药中间体4AA的手性酶催化产品产业化落地，实现谷胱甘肽、腺苷蛋氨酸和虾青素三个高附加值生物合成产品的成果转化，同时在研多个生物催化和生物合成产品，已经形成从上游研发、中试放大到产业化落地整条产业链的合成生物学平台。

莱茵生物：探索天然甜味剂的合成生物学相关技术。莱茵生物是全球植物提取行业的领军企业，主要系列有：天然甜味剂提取物、工业大麻提取物、茶叶提取物及其他保健护肤提取物等。结合自身行业特点和优势，莱茵生物逐步加大合成生物学技术应用于主营的天然、健康功能性成分领域的投入，设立合成生物学相关技术应用的全资子公司，主要围绕天然甜味剂等公司核心产品领域相关的生物合成技术产业化能力建设，开展新产品、新

技术的成果转化和投资，致力于将新公司打造成为国内领先的天然甜味剂领域生物合成技术成果转化基地。

利安隆：合成生物学打造第三生命曲线。利安隆是高分子材料抗老化产品门类全球配套最完整的两家公司之一，通过整合内部新兴产业并成立生命科学事业部，开始培育第三生命曲线。生命科学事业部目前涉及两个产业方向，分别是核酸药物赛道与合成生物学赛道，其中在合成生物学赛道，利安隆已与天津大学建立产学研合作关系，目前已顺利完成聚谷氨酸和红景天苷两个创新成果的所有权转让，合成生物学研发团队已开展转移技术的验证和放大工作，正在积极对接其他项目。

星湖科技：并购伊品生物，开拓生物发酵新产品。2022 年星湖科技完成对伊品生物的并购，伊品生物长期专注于生物发酵技术的研发和应用，产品市场已覆盖全国 30 多个省、市、自治区，并出口至 50 多个国家和地区，已发展成为具有行业竞争优势、集产学研为一体的现代化生物制造企业。十四五期间，伊品生物将以“动物营养+食品营养+植物营养+生物基新材料”为主要业务方向，依托“成本领先、技术创新、结构均衡、绿色发展”的战略方针，持续创新，以进一步挖掘现有产品潜力，开拓生物发酵细分领域新产品，优化产品结构，巩固行业地位。

■ 风险因素

下游需求不及预期。如果相关公司下游行业需求增速放缓甚至回落，则将导致相关产品需求下滑，产品价格面临降低风险，进而影响公司的盈利。

产能建设不及预期。如果相关公司产能建设慢于原定计划，则可能导致相关公司错失市场机会，在后续的竞争中处于不利地位，进而影响公司的盈利。

行业竞争加剧。如果相关公司所处行业中有较多新进入者或原有厂商大幅扩产，则将导致行业格局恶化，产品价格面临降低风险，进而影响公司的盈利。

原材料价格波动。如果相关公司产品原材料价格上涨却无法对应提高产品价格，则将导致相关公司盈利能力降低。

新产品研发进度或市场推广不及预期。合成生物学企业需要依靠新产品的落地实现成长，如果出现新产品研发失败、研发时间过长、市场拓展受阻等情况，则将影响公司的盈利。

分析师声明

主要负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此声明：(i) 本研究报告所表述的任何观点均精准地反映了上述每位分析师个人对标的证券和发行人的看法；(ii) 该分析师所得报酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来均不会直接或间接地与研究报告所表述的具体建议或观点相联系。

一般性声明

本研究报告由中信证券股份有限公司或其附属机构制作。中信证券股份有限公司及其全球的附属机构、分支机构及联营机构（仅就本研究报告免责条款而言，不含 CLSA group of companies），统称为“中信证券”。

本研究报告对于收件人而言属高度机密，只有收件人才能使用。本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。本研究报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。中信证券并不因收件人收到本报告而视其为中信证券的客户。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断并自行承担投资风险。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但中信证券不保证其准确性或完整性。中信证券并不对使用本报告或其所包含的内容产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他损失承担任何责任。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可跌可升。过往的业绩并不能代表未来的表现。

本报告所载的资料、观点及预测均反映了中信证券在最初发布该报告日期当日分析师的判断，可以在不发出通知的情况下做出更改，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。中信证券并不承担提示本报告的收件人注意该等材料的责任。中信证券通过信息隔离墙控制中信证券内部一个或多个领域的信息向中信证券其他领域、单位、集团及其他附属机构的流动。负责撰写本报告的分析师的薪酬由研究部门管理层和中信证券高级管理层全权决定。分析师的薪酬不是基于中信证券投资银行收入而定，但是，分析师的薪酬可能与投行整体收入有关，其中包括投资银行、销售与交易业务。

若中信证券以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构为此发送行为承担全部责任。该机构的客户应联系该机构以交易本报告中提及的证券或要求获悉更详细信息。本报告不构成中信证券向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议，中信证券以及中信证券的各个高级职员、董事和员工亦不为（前述金融机构之客户）因使用本报告或报告载明的内容产生的直接或间接损失承担任何责任。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后 6 到 12 个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的 6 到 12 个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A 股市场以沪深 300 指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准；韩国市场以科斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅 20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于 5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~5%之间
		卖出	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅 10%以上
	行业评级	强于大市	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅 10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅 10%以上

特别声明

在法律许可的情况下，中信证券可能（1）与本研究报告所提到的公司建立或保持顾问、投资银行或证券服务关系，（2）参与或投资本报告所提到的公司的金融交易，及/或持有其证券或其衍生品或进行证券或其衍生品交易，因此，投资者应考虑到中信证券可能存在与本研究报告有潜在利益冲突的风险。本研究报告涉及具体公司的披露信息，请访问 <https://research.citicsinfo.com/disclosure>。

法律主体声明

本研究报告在中华人民共和国（香港、澳门、台湾除外）由中信证券股份有限公司（受中国证券监督管理委员会监管，经营证券业务许可证编号：Z20374000）分发。本研究报告由下列机构代表中信证券在相应地区分发：在中国香港由 CLSA Limited（于中国香港注册成立的有限公司）分发；在中国台湾由 CL Securities Taiwan Co., Ltd. 分发；在澳大利亚由 CLSA Australia Pty Ltd.（商业编号：53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159）分发；在美国由 CLSA（CLSA Americas, LLC 除外）分发；在新加坡由 CLSA Singapore Pte Ltd.（公司注册编号：198703750W）分发；在欧洲经济区由 CLSA Europe BV 分发；在英国由 CLSA（UK）分发；在印度由 CLSA India Private Limited 分发（地址：8/F, Dalamal House, Nariman Point, Mumbai 400021；电话：+91-22-66505050；传真：+91-22-22840271；公司识别号：U67120MH1994PLC083118）；在印度尼西亚由 PT CLSA Sekuritas Indonesia 分发；在日本由 CLSA Securities Japan Co., Ltd. 分发；在韩国由 CLSA Securities Korea Ltd. 分发；在马来西亚由 CLSA Securities Malaysia Sdn Bhd 分发；在菲律宾由 CLSA Philippines Inc.（菲律宾证券交易所及证券投资者保护基金会）分发；在泰国由 CLSA Securities (Thailand) Limited 分发。

针对不同司法管辖区的声明

中国大陆：根据中国证券监督管理委员会核发的经营证券业务许可，中信证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。

中国香港：本研究报告由 CLSA Limited 分发。本研究报告在香港仅分发给专业投资者（《证券及期货条例》（香港法例第 571 章）及其下颁布的任何规则界定的），不得分发给零售投资者。就分析或报告引起的或与分析或报告有关的任何事宜，CLSA 客户应联系 CLSA Limited 的罗鼎，电话：+852 2600 7233。

美国：本研究报告由中信证券制作。本研究报告在美国由 CLSA（CLSA Americas, LLC 除外）仅向符合美国《1934 年证券交易法》下 15a-6 规则界定且 CLSA Americas, LLC 提供服务的“主要美国机构投资者”分发。对身在美国的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所述任何观点的背书。任何从中信证券与 CLSA 获得本研究报告的接收者如果希望在美国交易本报告中提及的任何证券应当联系 CLSA Americas, LLC（在美国证券交易委员会注册的经纪交易商），以及 CLSA 的附属公司。

新加坡：本研究报告在新加坡由 CLSA Singapore Pte Ltd.，仅向（新加坡《财务顾问规例》界定的）“机构投资者、认可投资者及专业投资者”分发。就分析或报告引起的或与分析或报告有关的任何事宜，新加坡的报告收件人应联系 CLSA Singapore Pte Ltd，地址：80 Raffles Place, #18-01, UOB Plaza 1, Singapore 048624，电话：+65 6416 7888。因您作为机构投资者、认可投资者或专业投资者的身份，就 CLSA Singapore Pte Ltd. 可能向您提供的任何财务顾问服务，CLSA Singapore Pte Ltd 豁免遵守《财务顾问法》（第 110 章）、《财务顾问规例》以及其下的相关通知和指引（CLSA 业务条款的新加坡附件中证券交易服务 C 部分所披露）的某些要求。MCI (P) 085/11/2021。

加拿大：本研究报告由中信证券制作。对身在加拿大的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。

英国：本研究报告归属于营销文件，其不是按照旨在提升研究报告独立性的法律要件而撰写，亦不受任何禁止在投资研究报告发布前进行交易的限制。本研究报告在英国由 CLSA（UK）分发，且针对由相应本地监管规定所界定的在投资方面具有专业经验的人士。涉及到的任何投资活动仅针对此类人士。若您不具备投资的专业经验，请勿依赖本研究报告。

欧洲经济区：本研究报告由荷兰金融市场管理局授权并管理的 CLSA Europe BV 分发。

澳大利亚：CLSA Australia Pty Ltd（“CAPL”）（商业编号：53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159）受澳大利亚证券与投资委员会监管，且为澳大利亚证券交易所及 CHI-X 的市场参与主体。本研究报告在澳大利亚由 CAPL 仅向“批发客户”发布及分发。本研究报告未考虑收件人的具体投资目标、财务状况或特定需求。未经 CAPL 事先书面同意，本研究报告的收件人不得将其分发给任何第三方。本段所称的“批发客户”适用于《公司法（2001）》第 761G 条的规定。CAPL 研究覆盖范围包括研究部门管理层不时认为与投资者相关的 ASX All Ordinaries 指数成分股、离岸市场上市证券、未上市发行人及投资产品。CAPL 寻求覆盖各个行业中与其国内及国际投资者相关的公司。

印度：CLSA India Private Limited，成立于 1994 年 11 月，为全球机构投资者、养老基金和企业提供股票经纪服务（印度证券交易委员会注册编号：INZ000001735）、研究服务（印度证券交易委员会注册编号：INH000001113）和商人银行服务（印度证券交易委员会注册编号：INM000010619）。CLSA 及其关联方可能持有标的公司的债务。此外，CLSA 及其关联方在过去 12 个月内可能已从标的公司收取了非投资银行服务和/或非证券相关服务的报酬。如需了解 CLSA India “关联方”的更多详情，请联系 Compliance-India@clsa.com。

未经中信证券事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

中信证券 2023 版权所有。保留一切权利。