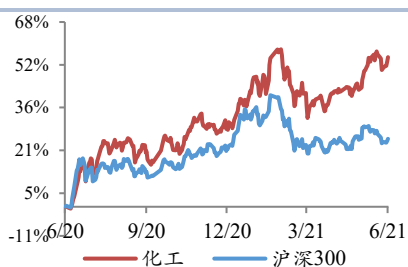


合成生物学——属于未来的生产方式

行业评级：增持

报告日期：2021-06-24

行业指数与沪深300走势比较

分析师：刘万鹏

执业证书号：S0010520060004

电话：18811591551

邮箱：liuwp@hazq.com

联系人：曾祥钊

执业证书号：S0010120080034

电话：13261762913

邮箱：zengxz@hazq.com

相关报告

1. 凯赛生物：生物基尼龙即将投产，共同开启合成生物学时代 2021-06-23
2. 华恒生物：以生物法丙氨酸为基础，发力合成生物学赛 2021-06-12
3. 凯赛生物：全球生物化工平台型创新者 2021-02-20

主要观点：
● 未来的天工开物：合成生物学

当人造物质超过自然物质总量时（资料来源 Nature），合成生物学有望移步幕前，成为人类实现可持续发展的必备工具。合成生物学的本质是让细胞为人类工作生产想要的物质。与传统化学合成相比，合成生物学具有微型化、可循环、更安全的特点；与传统发酵工程相比，合成生物学对细胞的干预是定向的。复盘合成生物学发展，我们认为已进入成长期：2000 年以来，合成生物学基础研究领域加速发展；2011 年以来，合成生物学技术的专利布局进入加速期，相关专利的申请量快速增长；2015 年以来，合成生物学产业投资加速。

● 合成生物学是一个长坡厚雪的赛道

据 McKinsey 统计，生物制造的产品可以覆盖 70% 化学制造的产品，并在继续拓展边界。全球合成生物学领域有望快速成长：1) 据 McKinsey 数据，预计到 2025 年，合成生物学与生物制造的经济影响将达到 1000 亿美元；2) 据 Transparency Market Research 数据，2018 年全球合成生物学市场空间已达到 49.6 亿美元，预计至 2027 年将超过 400 亿美元（2600 亿元人民币），年复合增长率（CAGR）为 26.3%；3) 据 Data Bridge Market Research 数据，到 2027 年合成生物学市场规模将达到 303 亿美元，复合年增长率为 23.6%；4) 根据 BCC Research 数据，合成生物学领域 2017-2022 年的复合年增长率（CAGR）为 26.0%。

● 合成生物学开始发力

有一个角度可以观察一个产业的发展阶段，那就是产业中大部分企业的融资方式。如果全部企业都是通过一级市场融资，说明产业处于导入期；如果开始有企业陆续上市，在二级市场融资，说明产业进入成长期；如果大量企业上市层出不穷，说明产业进入快速成长期。例如，电动车产业的发展主要看特斯拉的上市，以及 2018 年单季度盈利转正，随之而来的是整个产业的两次大爆发。对比合成生物学产业，全球主要有 5 家上市公司，近一年内集中上市 4 家公司，分别是凯赛生物、华恒生物、Zymergen、Ginkgo Bioworks。我们华安化工认为，合成生物学领域多家公司集中上市代表这一领域已进入成长期。

● 合成生物学百家争鸣

从产业链布局的角度来看，合成生物学的公司可以分为两类：一类是实现从基因编辑到产品落地的全产业链公司，既有合成生物学技术储备，又有市场化产品落地；另一类是以服务为主，提供基因编辑和细胞工厂的研发型公司，业务以提供合成生物学技术支持为主，产品以代工厂生产为主。从盈利模式来看，全产业链布局的公

司中短期内有望通过替代化学法更快实现盈利；而以服务为主的研发型公司将在合成生物学行业生态建立起来后，通过更高效专业地为大量代工企业服务获利。截止目前，国外从事合成生物学领域的公司已经近 500 家，国内相关领域的公司也多达数十家，可谓百家争鸣、百花齐放。

● **合成生物学是绿色制造的核心**

在“碳中和”的政策背景下，以合成生物学为基础，通过生物化工生产的产品有望得到政策的倾斜，撬动合成生物学的政策杠杆：1) 原料端，生物化工主要以可再生资源作为原料，符合可持续发展的理念，并在某些产品领域缩短产业链长度，降低原材料成本占比和产品周期属性；2) 工艺端，对于某些特定的化学品，生物法大部分反应步骤均在微生物或酶的作用下进行，反应条件更温和、流程更简单，反应过程中的碳排放也更少；3) 后处理端，一方面合成生物学通过改造可以让微生物参与更多的废弃物治理，另一方面生物基材料因热塑性而方便回收利用，减少环境负担。

● **合成生物学和化学合成不是对立关系**

我们认为，合成生物学是化学合成的一种补充生产方式，而不是替代关系。合成生物学不能构成完整的产业链。通常合成生物学更适宜生产小分子，因为大分子不宜和细胞质、营养液等相似分子量的物质分离。如果进一步生产聚合物或者改性仍需要精度更高的化学合成方法实施。完整的产业链包括基因工程、菌种培育、发酵过程、分离纯化、改性合成、开发应用这 6 个环节。

● **机遇和挑战并存**

合成生物学是人类生产工业品的新手段，在巨大的机遇面前，也要正视潜在的风险和挑战。尤其是涉及基因改造、生物循环等相对传统化工更加未知的领域。我们认为，合成生物学成为未来制造的主要补充手段可能还存在以下挑战：1) 原料来源有待拓展 2) 基础分子不明确、3) 市场推广与标准建立、4) 生物安全与伦理、5) 对公司综合能力要求高等问题。

● **投资建议**

我们综合考虑收入体量、上市地区、技术平台、成长性等推荐关注：凯赛生物、华恒生物、Ginkgo Bioworks、Zymergen。

● **风险提示**

产业化进程不及预期的风险；菌种及配方泄露的风险；法律诉讼的风险；生物安全的风险；道德伦理的风险；下游认证不及预期的风险。

● **推荐公司盈利预测与评级：**

公司	EPS (元)			PE			评级
	2020A	2021E	2022E	2020A	2021E	2022E	
凯赛生物	1.18	1.64	2.18	77.43	63.32	47.59	买入
华恒生物	1.50	1.63	2.18	0.00	30.51	22.85	买入

资料来源：wind，华安证券研究所

正文目录

1 合成生物学：天工开物	8
1.1 合成生物学是什么？	8
1.2 合成生物学可以做什么？	17
1.3 合成生物学发展复盘	22
1.4 合成生物学主要工具	27
2 合成生物学百家争鸣	29
2.1 生产型公司	31
2.1.1 凯赛生物：全球合成生物学领军者	31
2.1.2 华恒生物：生物法丙氨酸龙头	39
2.1.3 蓝晶微生物：领先的生物法功能分子和新材料制造商	43
2.1.4 Ginkgo Bioworks：全球微生物生产龙头	45
2.1.5 Zymergen：合成生物学平台型研发公司	48
2.1.6 Amyris：综合性合成生物学巨头	52
2.1.7 Gevo：生物法制造燃料龙头	58
2.1.8 Bolt Threads：纺服和皮革生物新材料生产商	61
2.1.9 Lygos：生物法有机酸制造龙头	63
2.1.10 Pivot Bio：生物法农业肥料生产龙头	65
2.1.11 Lanzatech：碳收集行业先锋	66
2.1.12 Carbios：塑料和纺织品酶促回收行业龙头	69
2.2 研发服务型公司	70
2.2.1 弈柯莱生物科技：生物法医药健康产品研发	70
2.2.2 Bota Bio：综合生物制造研发新秀	73
2.2.3 Beam：基因药物研发龙头	74
2.2.4 Codexis：生物酶和蛋白质研发龙头	78
2.2.5 Genomatica：生物法新材料研发龙头	81
2.3 科研机构	82
3 合成生物学是绿色制造的核心	87
3.1 原料端：可再生资源作为原料	87
3.2 工艺端：生物法流程更简单，碳排放更低	88
3.3 后处理端：治理与再利用并行	91
4 合成生物学机遇和挑战并存	94
4.1 原料来源有待拓展	94
4.2 基础分子不明确	98
4.3 市场推广与标准建立	98
4.4 生物安全与伦理	99
4.5 对公司综合能力要求高	101
5 风险提示	102

图表目录

图表 1 细胞工厂示意图	9
图表 2 合成生物学示意图	9
图表 3 合成生物学的知识图谱	11
图表 4 合成生物学与化学工程对比	12
图表 5 合成生物学与计算机科学有相似之处	13
图表 6 合成生物学对传统发酵的影响	14
图表 7 二元胺在细胞体内的代谢路径	15
图表 8 生物化工全产业链图	16
图表 9 人造物质已超过天然物质总量	16
图表 10 合成生物学发展使微生物细胞工厂效率大幅提升	17
图表 11 合成生物学在部分领域的应用实例	18
图表 12 合成生物学在化工相关市场空间预测	21
图表 13 合成生物学在各领域的应用展望	22
图表 14 合成生物学发展历史	23
图表 15 21 世纪以来合成生物学研究进展	24
图表 16 合成生物学从科学研究走向产业化	25
图表 17 基因测序成本变化	26
图表 18 生物技术更替路线	26
图表 19 合成生物学的主要工具	27
图表 20 CRISPR 技术	28
图表 21 合成生物学未来重要的研究方向	28
图表 22 以特斯拉为代表的新能源汽车发展史	29
图表 23 海外合成生物学相关企业数量和成立时间统计	30
图表 24 合成生物学的层级结构	31
图表 25 凯赛生物公司发展历程	31
图表 26 凯赛生物融资历程	32
图表 27 凯赛生物核心人员简介	32
图表 28 公司现有和规划产品	33
图表 29 凯赛生物戊二胺的三代技术	34
图表 30 凯赛生物尼龙产品布局	35
图表 31 凯赛生物秸秆原料替代方案	36
图表 32 生物化工全产业链流程图	37
图表 33 公司国内营收占比变化	37
图表 34 公司海外收入地区分布变化	37
图表 35 凯赛生物董事长履历	38
图表 36 凯赛生物专利数量变化	38
图表 37 凯赛生物营收及增速	39
图表 38 凯赛生物归母净利润及增速	39
图表 39 华恒生物公司发展历程	40
图表 40 华恒生物融资历程	40
图表 41 华恒生物核心人员简介	40

图表 42 华恒生物产品产业链	42
图表 43 华恒生物专利数量变化	43
图表 44 华恒生物营收及增速	43
图表 45 华恒生物归母净利润及增速	43
图表 46 蓝晶微生物核心人员简介	44
图表 47 蓝晶微生物融资历程	44
图表 48 蓝晶微生物专利数量变化	45
图表 49 GINKGO BIOWORKS 核心人员简介	45
图表 50 GINKGO BIOWORKS 融资历程	46
图表 51 GINKGO 产品梯队不断壮大，与多名新客户取得良好进展	47
图表 52 GINKGO 专利数量变化	47
图表 53 ZYMERGEN 公司发展历程	48
图表 54 ZYMERGEN 核心人员简介	48
图表 55 ZYMERGEN 融资历程	49
图表 56 ZYMERGEN 公司产品产业化进度	50
图表 57 ZYMERGEN 专利数量变化	51
图表 58 ZYMERGEN 营收	52
图表 59 ZYMERGEN 归母净利润	52
图表 60 AMYRIS 公司发展历程	53
图表 61 AMYRIS 融资历程	53
图表 62 AMYRIS 核心人员简介	53
图表 63 AMYRIS 产品梯队	55
图表 64 AMYRIS 专利数量变化	57
图表 65 AMYRIS 研发费用率高	57
图表 66 AMYRIS 产品收入增长迅速	57
图表 67 AMYRIS 收入分布	58
图表 68 AMYRIS 账面现金情况持续改善	58
图表 69 AMYRIS 营收及增速	58
图表 70 AMYRIS 归母净利润及增速	58
图表 71 GEVO 核心人员简介	59
图表 72 GEVO 上市前融资历程	59
图表 73 GEVO 的“净零项目 1”规划	60
图表 74 GEVO 专利数量变化	61
图表 75 BOLT THREADS 融资历程	61
图表 76 BOLT THREADS 核心人员简介	62
图表 77 BOLT 专利数量变化	63
图表 78 LYGOS 融资历程	63
图表 79 LYGOS 核心人员简介	63
图表 80 LYGOS 专利数量变化	65
图表 81 PIVOT BIO 核心人员简介	65
图表 82 PIVOT BIO 融资历程	66
图表 83 PIVOT 专利数量变化	66
图表 84 LANZATECH 核心人员简介	67
图表 85 LANZATECH 融资历程	67

图表 86 LANZATECH 碳收集技术流程	68
图表 87 LANZATECH 专利数量变化	68
图表 88 CARBIOS 核心人员简介	69
图表 89 CARBIOS 融资历程	70
图表 90 CARBIOS 专利数量变化	70
图表 91 弈柯莱核心人员简介	71
图表 92 弈柯莱融资历程	71
图表 93 弈柯莱产品梯队	72
图表 94 弈柯莱专利数量变化	73
图表 95 BOTA BIOSCIENCES 核心人员简介	73
图表 96 BOTA BIOSCIENCES 融资历程	74
图表 97 BEAM 公司发展历程	74
图表 98 BEAM 核心人员简介	74
图表 99 BEAM 融资历程	75
图表 100 基因治疗技术发展	76
图表 101 基因治疗的五种临床用途	77
图表 102 BEAM 公司产品产业化进度	77
图表 103 BEAM 专利数量变化	78
图表 104 CODEXIS 核心人员简介	79
图表 105 CODEXIS 融资历程	79
图表 106 CODEXIS 生物酶-可持续生产产品研发进度	80
图表 107 CODEXIS 生物酶-生命科学产品研发进度	80
图表 108 CODEXIS 专利数量变化	80
图表 109 CODEXIS 营收与净利	81
图表 110 CODEXIS 研发收入占比	81
图表 111 GENOMATICA 核心人员简介	81
图表 112 GENOMATICA 融资历程	81
图表 113 GENOMATICA 专利数量变化	82
图表 114 国外代表合成生物学企业、人员与科研单位关系密切	83
图表 115 国内合成生物学科研机构发展	83
图表 116 各科研院所合成生物学相关的主要研究人员	85
图表 117 欧盟生物基产品的总原料使用量和进口量	87
图表 118 尼龙 56 和尼龙 66 流程对比	88
图表 119 尼龙 56 和尼龙 66 成本结构对比	88
图表 120 丙氨酸合成方法对比	89
图表 121 维生素 E 合成方法发展与对比	89
图表 122 维生素 C 合成方法发展与对比	90
图表 123 不同种类塑料能耗系数、碳排放系数、取水系数	91
图表 124 合成生物学在废弃塑料处理中的应用	92
图表 125 热固性和热塑性材料比较	93
图表 126 中美玉米产量对比	94
图表 127 各地禁止秸秆焚烧	95
图表 128 玉米与秸秆可利用性对比	96
图表 129 秸秆预处理方法比较	96

图表 130 生物废弃物原料替代技术路径	97
图表 131 生物废弃物综合利用方案	97
图表 132 细胞体内代谢循环与塑料产业链对比	98
图表 133 基因编辑婴儿事件	100
图表 134 发酵罐有限空间作业导致的安全事故	100
图表 135 以凯赛生物和 GINKGO 为例的合成生物学企业布局	101

1 合成生物学：天工开物

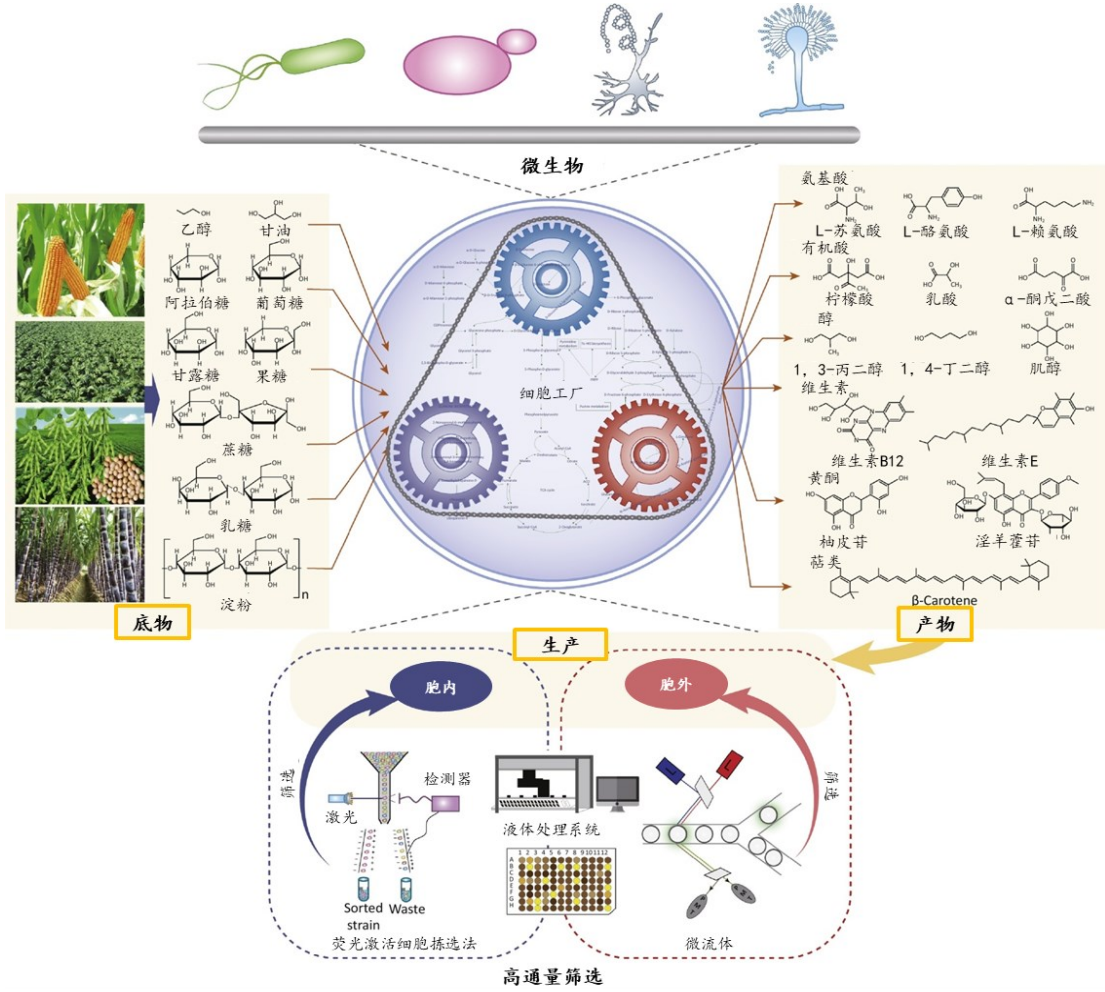
当人造物质超过自然物质总量时（资料来源 Nature），合成生物学有望移步幕前，成为人类实现可持续发展的必备工具。合成生物学的本质是让细胞为人类工作生产想要的物质。与传统化学合成相比，合成生物学具有微型化、可循环、更安全的特点；与传统发酵工程相比，合成生物学对细胞的干预是定向的。复盘合成生物学发展，我们认为已进入成长期：2000 年以来，合成生物学基础研究领域加速发展；2011 年以来，合成生物学技术的专利布局进入加速期，相关专利的申请量快速增长；2015 年以来，合成生物学产业投资加速。

合成生物学是一个长坡厚雪的赛道。据 McKinsey 统计，生物制造的产品可以覆盖 70% 化学制造的产品，并在继续拓展边界。全球合成生物学领域有望快速成长：1) 据 McKinsey 数据，预计到 2025 年，合成生物学与生物制造的经济影响将达到 1000 亿美元；2) 据 Transparency Market Research 数据，2018 年全球合成生物学市场空间已达到 49.6 亿美元，预计至 2027 年将超过 400 亿美元（2600 亿元人民币），年复合年增长率（CAGR）为 26.3%；3) 据 Data Bridge Market Research 数据，到 2027 年合成生物学市场规模将达到 303 亿美元，复合年增长率为 23.6%；4) 根据 BCG Research 数据，合成生物学领域 2017-2022 年的复合年增长率（CAGR）为 26.0%。

1.1 合成生物学是什么？

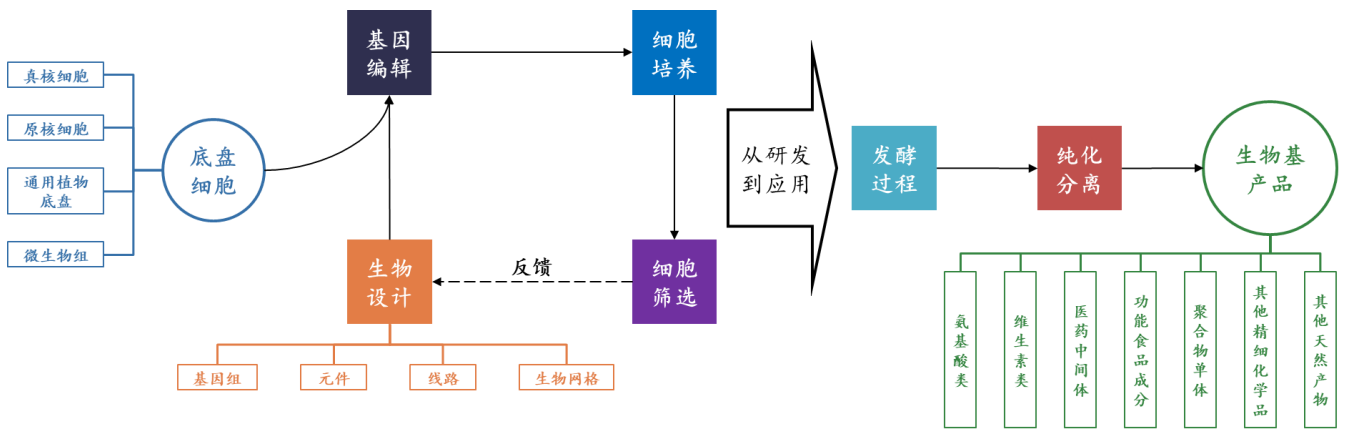
合成生物学的本质是让细胞为人类工作生产想要的物质。该技术突破自然进化的限制，以“人工设计与编写基因组”为核心，可针对特定需求从工程学角度设计构建元器件或模块。通过这些元器件对现有自然生物体系进行改造和优化，或者设计合成全新可控运行的人工生物体系。它把“自下而上”的“建造”理念与系统生物学“自上而下”的“分析”理念相结合，利用自然界中已有物质的多样性，构建具有可预测和可控制特性的遗传、代谢或信号网络的合成成分。合成生物学的研究内容主要包括生物元件、基因线路、代谢工程以及基因组工程。

图表 1 细胞工厂示意图



资料来源:《Trends in Biotechnology》华安证券研究所

图表 2 合成生物学示意图

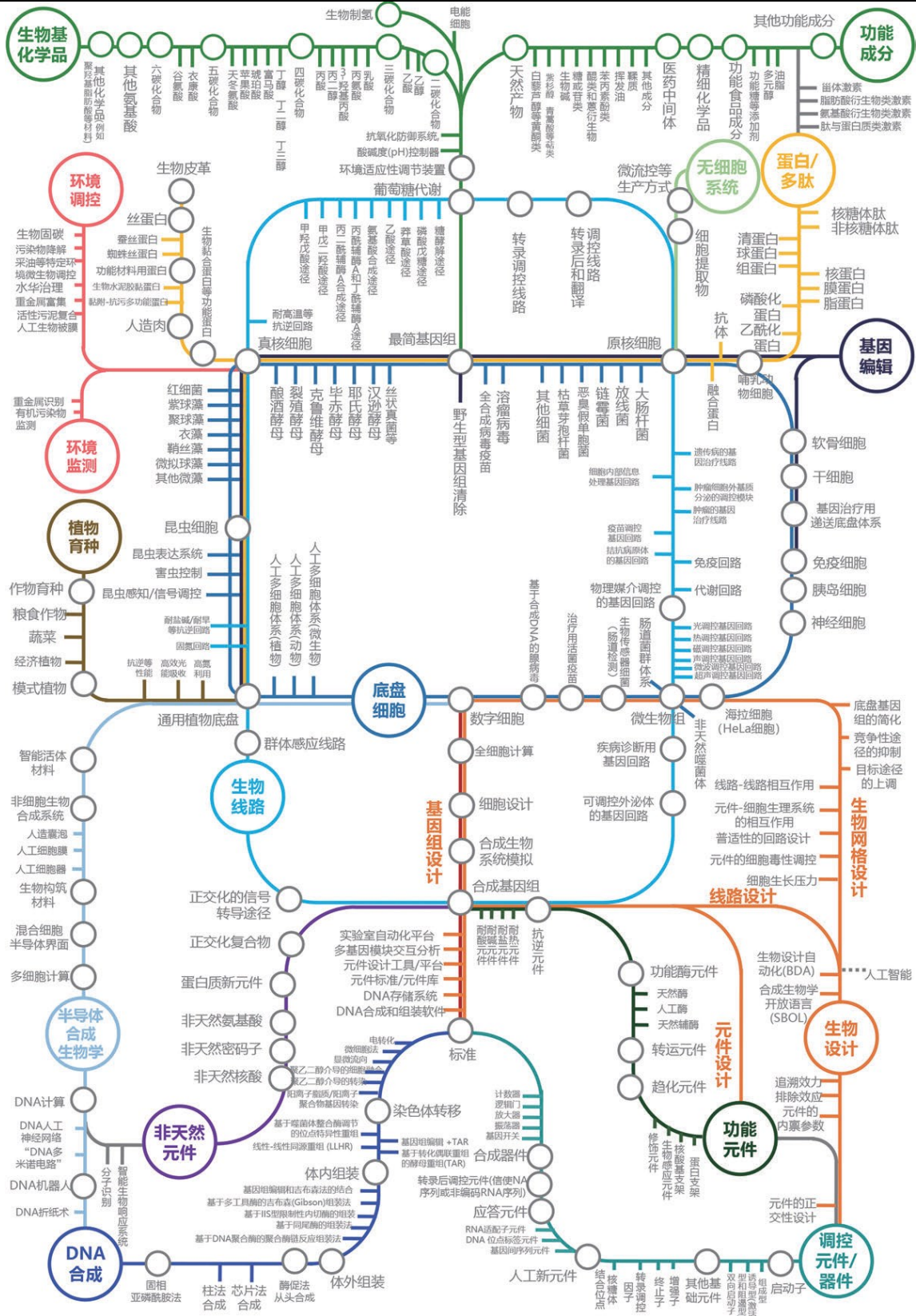


资料来源:华安证券研究所整理

在合成生物学技术的知识体系中, DNA 合成技术的发展、合成生物学元件的开发是

基础。其中，合成生物学元件根据来源可分为天然元件和非天然元件，根据作用又可分为调控元件和功能元件等。立足元件的标准化开发，利用生物设计的工具，已开发出各类生物线路。这些生物线路在底盘细胞或无细胞系统中，用于生物基化学品、功能成分、蛋白质或多肽的表达，以及环境调控和监测、植物育种等领域的应用。

图表 3 合成生物学的知识图谱



资料来源:《合成生物学》, 华安证券研究所

合成生物学难度有高低，可分为三个阶段：一是利用现有的天然生物模块构建新的调控网络并表现出新功能；二是采用从头合成方法人工合成基因组 DNA；三是人工创建全新的生物系统乃至生命体。合成生物学生产化学品的核心技术包括基因测序和编辑、菌种培育筛选、产品纯化分离。目前，合成生物学正处于产业化的关键阶段，产品种类迅速增加，新产品验证和对传统化学法的替代并行。

在化学品的生产过程中，**与传统的化学工艺相比，合成生物学具有微型化、可循环、更安全的特点：**

(1) **微型化：**利用合成生物学生产化学品的最小反应单元主要是细胞或酶的催化，因此放大难度较小，同一套装置适用于不同产品的生产，产品容易相互切换；而化学工艺需要不同单元操作搭配不同的反应装置，装置大型化过程中存在不确定性，且同一套装置难以适用不同产品生产，较难切换。

(2) **可循环：**合成生物学所需原料以生物质原料为主，符合可循环发展的理念，而化学工艺则以化石原料为主。

(3) **更安全：**合成生物学生产所需反应条件更温和，产业链长度更短，安全性更高；而化学工艺生产通常需要在高温高压等特殊环境下进行，产业链更长，容易出现安全隐患，需要更高的安全管理水平。

图表 4 合成生物学与化学工程对比

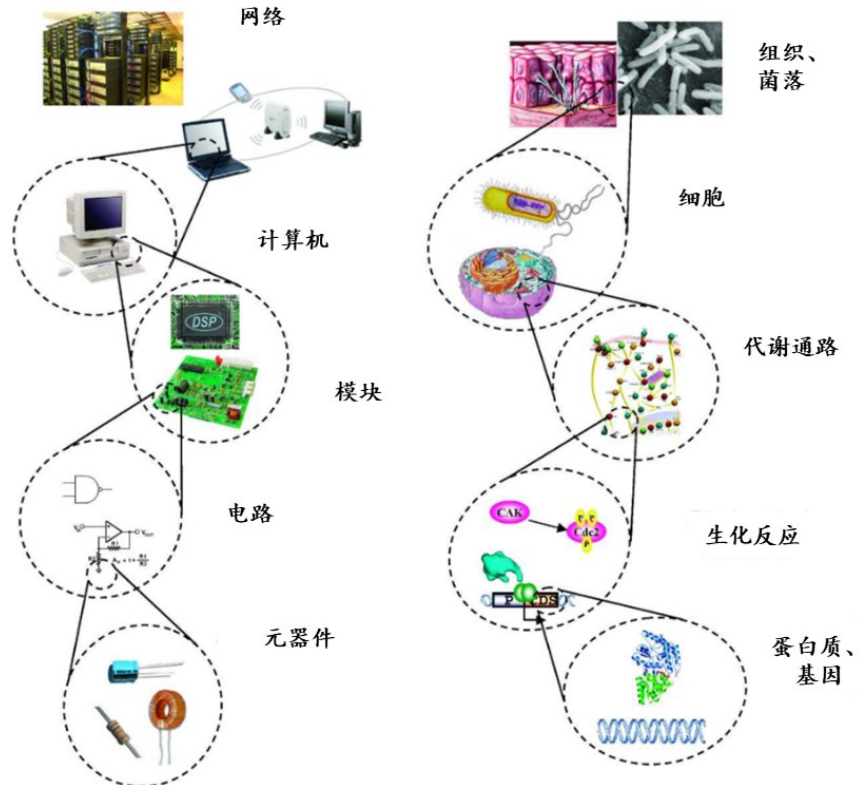
	合成生物学	化学工程
定义	在工程学思想指导下，按照特定目标理性设计、改造乃至从头重新合成生物体系，即生物学的工程化	化工技术或化学生产技术，指将原料主要经过化学反应转变为产品的方法和过程
发展阶段	处于产业化的关键阶段，产品种类快速增加，新产品验证和对传统化学法的替代并行	进入成熟阶段，新增产品种类少，主要是现有工艺的优化
核心技术	基因测序和编辑、菌种培育筛选、产品纯化分离	催化剂、工艺包
最小反应单元	细胞或酶催化	反应器
装置	放大难度较小，同一套装置适用于不同产品的生产，容易切换	放大难度较大，且同一套装置难以适用不同产品生产，较难切换
反应条件	较温和	部分涉及高温高压等特殊条件
原料来源	生物质原料为主、化石原料	化石原料为主
产业链长度	较短，大部分合成过程在生物体内	长短不一，通常成熟基础化学品和材料合成路径短，但复杂分子、含杂环、含杂原子的化学品合成路径较长，涉及单元操作多
擅长产品类型	底盘细胞生命周期涉及的物质，复杂分子	现有主流的化学品和材料
涉及学科	生物学、生物信息学、计算机科学、化学、材料学等多学科的交叉融合，推动了生物学的工程化从模块化、量化、标准化、通用性等角度系统展开	化学、材料学、热力学、动力学等

资料来源：CNKI，华安证券研究所

合成生物学与计算机科学相似度很高。合成生物学的目标是扩展或改变生物的行为，并对其进行改造服务产品生产。合成生物学过程的目标和方法可以用计算机的层次结构类比。在层次结构中，每个组成部分都包含在更复杂的系统中。在设计新行为时会先考虑到层次结构的顶部，但是实现的过程是自下而上的。层次结构的底部是 DNA，RNA，蛋白质和代谢产物（包括脂质和碳水化合物，氨基酸和核苷酸），类似于计算机中的晶体管、电容器和电阻器等。上一层是设备层，包括生化反应，该反应调节信息流并操纵物理过程，类似于在计算机中执行计算的逻辑门。在模块层，利用各种各样的生物设备库来组装起类似于集成电路一样功能的复杂路径。这些模块彼此之间的连接以及它们在宿主细胞中的整合，使合成生物学家能够以编程方式扩展或修改细胞的行为。尽管

独立运行的工程化单元可以执行各种复杂性的任务，但通信单元的数量却可以进行更复杂的协调任务，这与计算机网络的情况非常相似。

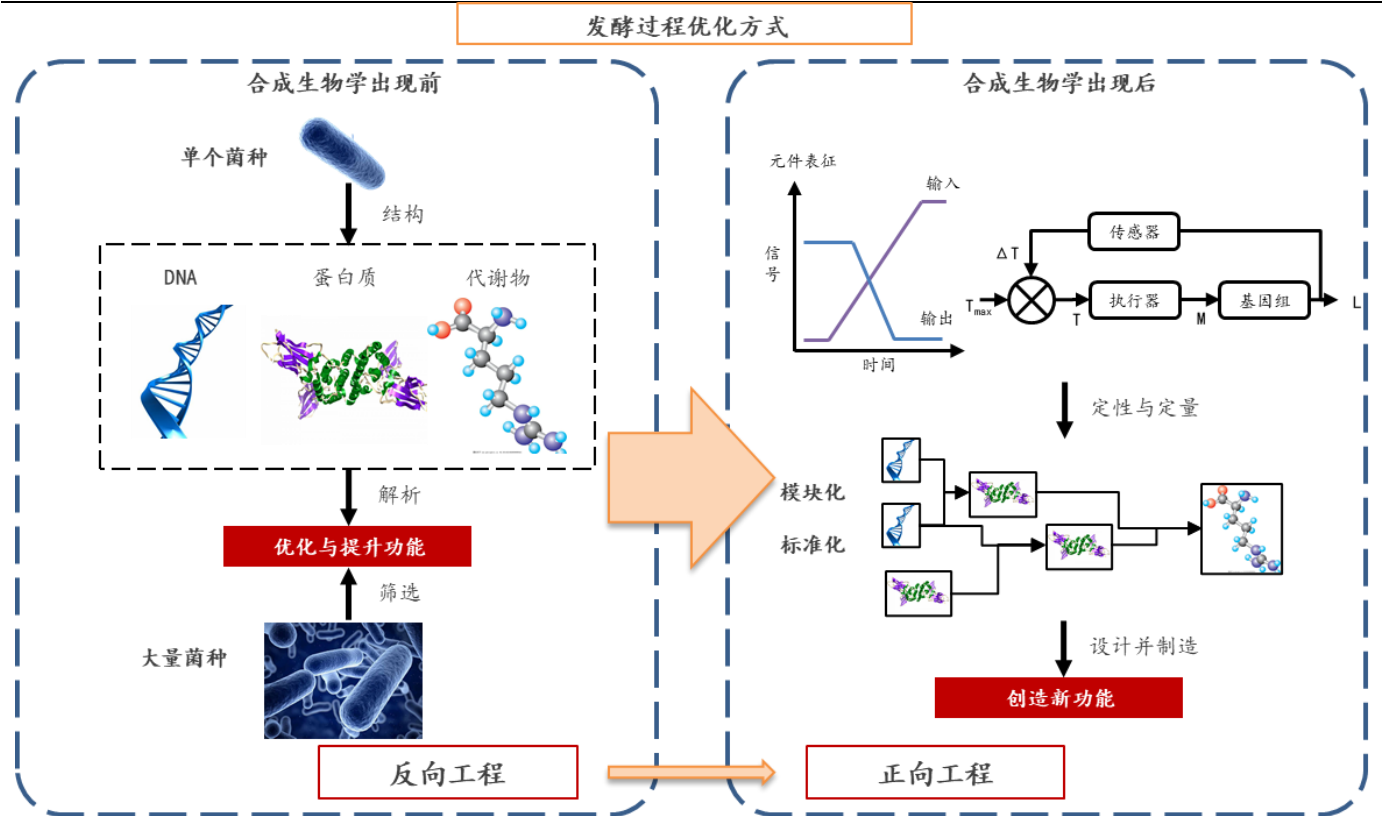
图表 5 合成生物学与计算机科学有相似之处



资料来源：NCBI，华安证券研究所

很多人关心合成生物学和发酵工程有什么区别，我们理解本质是对细胞干预的定向性。与传统的微生物发酵相比，运用合成生物学可以使过程优化从反向工程到正向工程，提高生产效率，拓宽产品类型。在传统的发酵过程中，对细胞的认识比较有限，是通过细胞功能确定生产产品。传统发酵的产品优化主要来源于对菌种进行改造或大量筛选，研究 DNA、蛋白和代谢物对提升产品性能的影响。合成生物学出现后，为传统发酵提供了工程化、模块化、标准化的工具，对生物元件进行定性和定量。以此为基础，重新组装这些元件，创造一些新的功能。合成生物学的引入，大大提高了传统发酵的能力圈，不仅可以利用相对简单的方法提高了产品的质量和生产效率，还能生产原本不能生产或原本效率低下的产品。

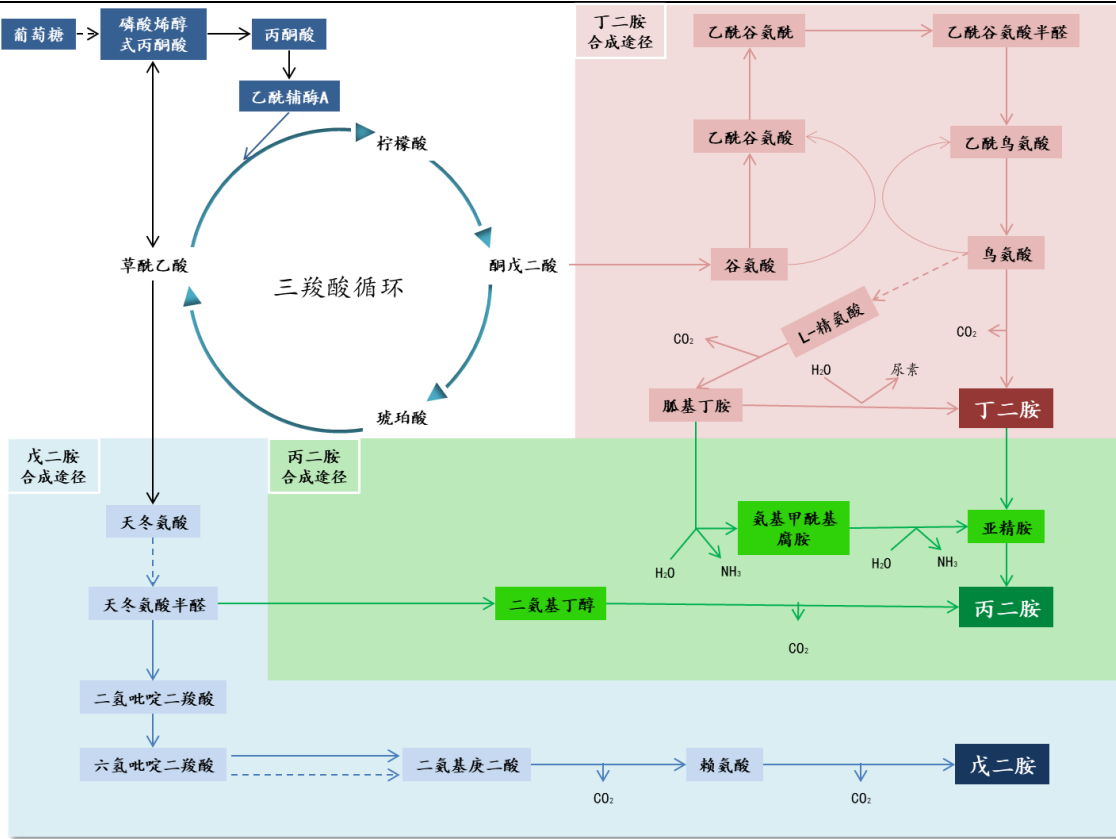
图表 6 合成生物学对传统发酵的影响



资料来源：深圳先进技术研究院，华安证券研究所

合成生物学更擅长生产底盘细胞生命周期涉及的物质。以二元胺为例，葡萄糖进入细胞后，经过一系列复杂的生化反应得到丙二胺、丁二胺以及戊二胺。之所以可以通过微生物生产二元胺，主要是因为生物体内，C3~C5 脂肪族二元胺的合成均衍生于碱性氨基酸（赖氨酸、鸟氨酸或精氨酸）的代谢途径。大肠杆菌存在天然的戊二胺和丁二胺代谢途径，通过对代谢途径中关键功能元件的表达调控以及旁支代谢途径的敲除，就可以实现了大肠杆菌对戊二胺和丁二胺的发酵生产。

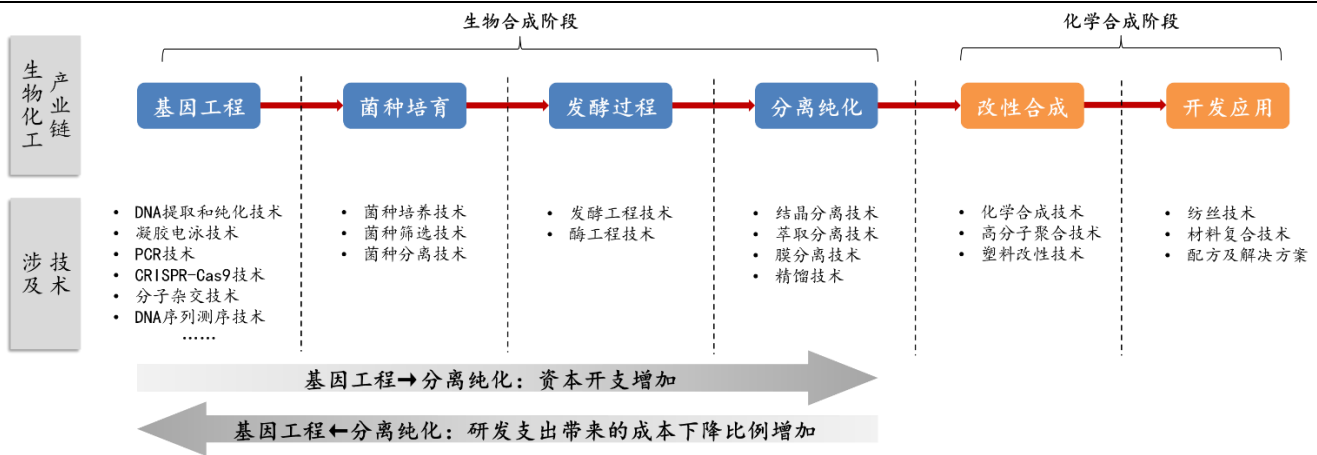
图表 7 二元胺在细胞体内的代谢路径



注：实线表示单一酶催化过程，虚线表示多种酶催化过程。
资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

合成生物学是生物化工产业链的底层核心技术来源之一。完整的生物化工全产业链有六大环节，包括基因工程、菌种培育、发酵过程、分离纯化、改性合成、开发应用。对于生产企业而言，生物化工各个环节并不是孤立的，而是密切联系的。利用合成生物学的技术对菌种进行优化，主要关心的三个指标是转化率、生产速率、产物分离难度。以上三个指标直接决定了生物化工全流程的生产成本及产品竞争力。以凯赛生物为例，公司实现了从上游到应用的全产业链布局，一方面可以实现产业链整体的技术改进和调整，以最合适的方式降低生产成本，提高产品质量；另一方面可以实现多学科、多技术的交流融合，有利于产品的开发应用。

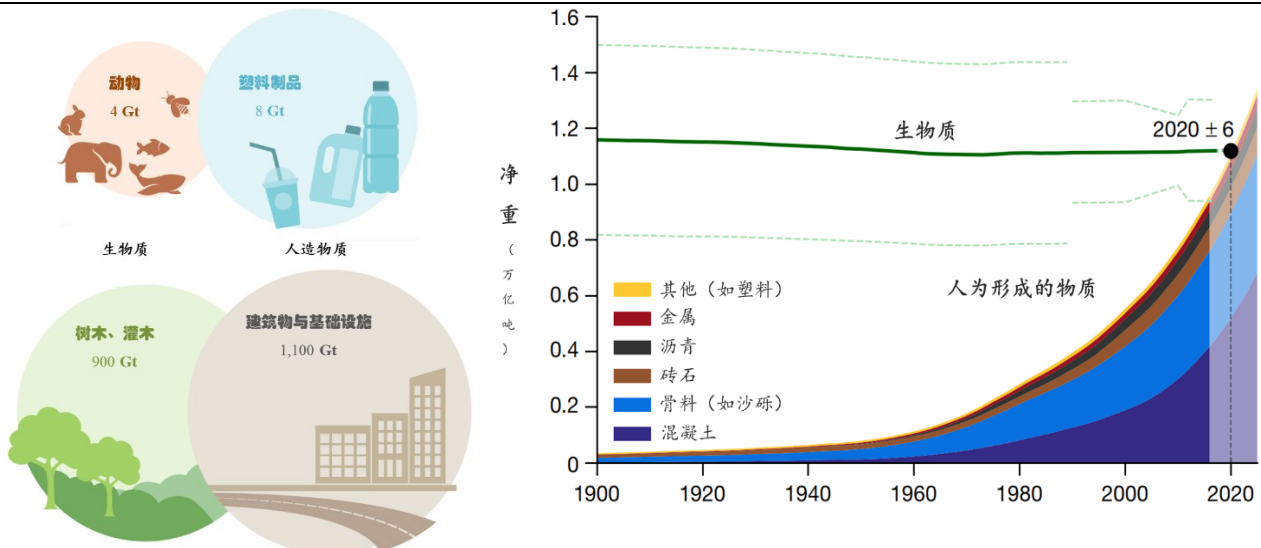
图表 8 生物化工全产业链图



资料来源：华安证券研究所整理

人造物质量已超自然物质，合成生物学是人类实现可持续发展必备工具之一。据《Nature》文章，2020 年全球人造物质量首次超过自然生物质量，其中人造物质中塑料质量达 80 亿吨，基建和基础设施质量达 11000 亿吨，而自然物质中动物质量 40 亿吨，植物质量 9000 亿吨。如果按照目前的发展趋势继续下去，到 2040 年人造物质质量将超过 30000 亿吨，约为自然物质的 3 倍。相比自然物质，许多人造物质难以进入生物循环，并不断堆积。人类不断将近地表地质沉积物转化为对社会有用的产品，这对自然栖息地，生物多样性以及气候和地球循环产生影响。以合成生物学为工具，用生物的方法发展工业合成生物学是可持续发展必经之路。

图表 9 人造物质已超过天然物质总量



资料来源：《Nature》，华安证券研究所

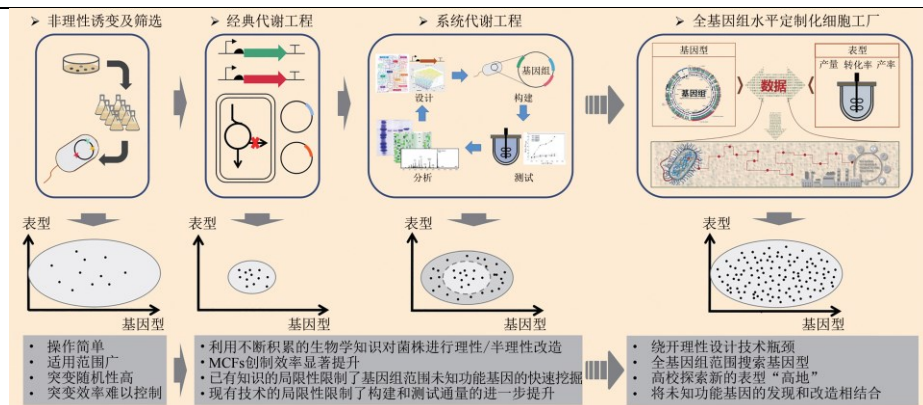
1.2 合成生物学可以做什么？

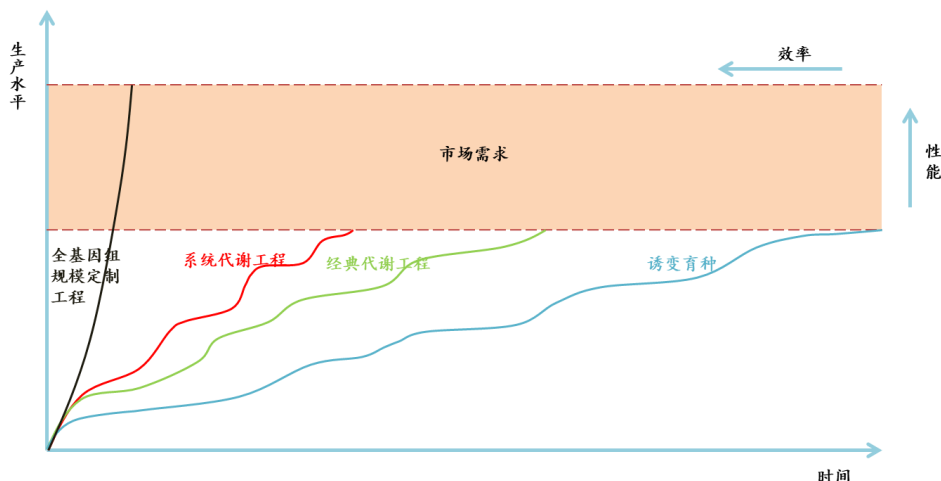
据 McKinsey 统计，生物制造的产品可以覆盖 70% 化学制造的产品，并在继续拓展边界。天然生物有 300 万种分子或新材料尚待发掘，从小分子聚合物到生物大分子再到细胞和生物材料。石油基分子的多样性十分有限，而生物分子多样性却近乎无限，超过 7 成的药物发现来自于生物，其余的才来自于煤化工和石油化工。生物合成作为一种新的生产方式，与传统方式相比主要有以下优点：1) 生物合成更擅长于制造复杂分子，如复杂官能团、杂原子、手性特异性等；2) 生物合成在部分领域具有成本优势，如维生素 E、甜菊糖苷以及凯赛的尼龙 56 等；3) 生物合成的生产方式能够显著降低碳排放，PHA 能够把全生命周期碳排放降低 90%，一根 PHA 吸管比 PP 吸管碳排放低 180g。

在生物化工产业链中，微生物细胞工厂是主要的反应单元。微生物细胞工厂 (microbial cell factories, MCFs) 是绿色生物制造的核心环节，也是合成生物学重要的产业化工具。利用微生物强大且多样的生化反应网络，通过对代谢路径的重塑和工程化，可以将微生物细胞改造为能够以低价值可再生资源为原料生产各类产品的微生物细胞工厂。利用合成生物学方法对自然界中微生物进行改造可以提高其利用可再生生物质资源合成不同化学品的能力。也正因为这一特性，微生物细胞工厂适用于生产细胞代谢工程中的各类物质。

微生物细胞工厂的构建策略经历了三个历史阶段，合成生物学的发展使微生物细胞工厂达到产业化水平。在 20 世纪 90 年代之前，主要通过天然微生物的筛选和非理性诱变育种技术获得目标产物高产菌株，是典型的“以时间（人力）换水平”的策略。20 世纪 90 年代以来，随着分子生物学、基因工程技术的逐步引入，代谢工程学科正式成立。代谢工程利用重组 DNA 技术对生物体中已知的代谢途径进行有目的的设计，以更好地理解利用细胞途径，并对细胞内的基因网络和调节过程进行调控和优化，构建具有特定功能的微生物细胞工厂。近年来，合成生物学的进步使得微生物细胞工厂构建和测试的能力得到显著提升，为提高构建效率以满足市场快速变化和多样的需求提供了重要的机遇。此外，二代测序 (next generation sequencing, NGS) 和基因组编辑的技术飞跃，使得从全基因组层次设计和构建微生物细胞工厂成为可能。

图表 10 合成生物学发展使微生物细胞工厂效率大幅提升





资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

在化工领域，合成生物学在生物基化学品的合成、生物材料、生物能源、现代农业、环境治理等领域有广泛的应用前景。近年来，合成生物学的技术进步不仅使一批合成生物学企业（例如：Aymris、Zymergen、Beam等）得以成长，也令许多以传统化工、医药产品开发为主的企业（例如：BASF、Dupont等）也将目光投向合成生物学，发展生物化工，开发出一系列生物基产品。

图表 11 合成生物学在部分领域的应用实例

应用领域	企业名称	国家(地区)	成立年份	典型技术或产品(在研或已上市)	代表性专利(申请号)	技术内容(及说明)
蛋白质和多肽	Bristol-Myers Squibb	美国	1887	蛋白表达操纵系统	US15/774138	操纵和/或控制多肽的蛋白质品质
	Gilead Sciences	美国	1987	MMP9 结合蛋白	US13/935370	编码结合基质金属蛋白酶-9 (MMP9) 的细胞
	Astrazeneca	英国	1999 (合并而来)	γ-羧化的蛋白质	US13/665441	表达需要 γ-羧化的重组蛋白、维生素 K 环氧化还原酶和 γ-谷氨酰羧化酶的细胞
	Codexis	美国	2002	CodeEvolver 平台 (蛋白质筛选生产)	US14/768408	编码工程化转氨酶多肽的多核苷酸
					US12/483089	合成、克隆、转化和筛选多核苷酸变体的大型多样文库的方法
	Ambrx	美国	2003	非天然多肽	US11/924101	正交氨酰基 tRNA 合成酶 (O-RS)
	Spiber	日本	2007	蜘蛛丝	JP2008548463	表达大壶腹腺蛛丝蛋白的基因线路
	Azargen Biotechnologies	南非	2009	肺表面活性蛋白	IL242708 EP2015724025	用植物细胞表达肺表面活性蛋白合成启动子
	Bolt Threads	美国	2009	MICROSILK (蜘蛛纤维)	US15/558548	具有长精确重复单元的长多肽的基因
				B-SILKT (丝蛋白)	US15/920331	高分泌产量的重组蛋白
Geltor	美国	2015	胶原蛋白	PCT/US2018/061882	利用机器学习设计胶原多肽的非天然合成方案	
化学品、生物材料及生	Bayer	德国	1863	类固醇	US10/355238	3-酮类固醇-Δ1-脱氢酶的过表达
	BASF	德国	1865	琥珀酸	EP2010708150	下调的内源性 PFL 酶活性的工程菌
	Cargil	美国	1865	醛缩酶催化的产品	US13/235107	编码具有醛缩酶活性多肽的多核苷酸的制备



物能 源	Dupont	美国	1897	二十碳五烯酸	US11/264737	含油酵母解脂耶氏酵母的工程化菌株
	Goodyear Tire & Rubber	美国	1898	异戊二烯聚合物	US12/459399	与启动子连接并编码异戊二烯合酶多肽的线路
	DSM	荷兰	1902	多烯脂肪酸	EP2010178911	破囊壶菌表达系统的启动子
	Corbion	荷兰	1919	油脂化学品	US13/630757	含脂酶、蔗糖转运蛋白、蔗糖转化酶、果糖激酶、多糖降解酶、酮酰基-ACP 合酶、脂肪酰基-ACP 硫酯酶、脂肪酰基-辅酶 A/醛还原酶、脂肪酰基-辅酶 A 还原酶、脂肪醛还原酶、脂肪醛脱羧基酶和/或酰基载体蛋白对应基因的生物线路
	Roquette Freres	法国	1933	花生四烯酸	FR2012057691	合成花生四烯酸的高山被孢霉的基因线路
	钟渊化学	日本	1949	聚羟基链烷酸酯	JP2007542665	硫解酶基因、还原酶基因。聚羟基丁酸合酶基因。聚羟基链烷酸酯合酶基因等组成的生物线路
	Yield10 Biosciences	美国	1992	多羟基丁酸酯	US12/764516	将多个基因导入植物，使其产聚羟基链烷酸酯
	Genomatica	美国	1998	1,4-丁二醇	US13/286135	4-羟基丁酸和1,4-丁二醇的生物合成途径
	Phytowet Green Technologies	德国	1998	α -紫罗兰酮	EP2015757235	编码番茄红素 ϵ -环化酶(EC)的序列、编码 α -紫罗兰酮生物合成组分等组成的生物线路
	Exxonmobil	美国	1999 (合并而来)	脂肪酸	US13/453235	表达脱氢酶以合成脂肪酸、脂肪酸衍生物或脂质
	Novozymes	丹麦	2000	生物质降解酶	DK2011701416T	编码 α -淀粉酶的多核苷酸
	Modular Genetics	美国	2000	酰基氨基酸	US14/776805	工程改造的肽合成酶多肽的基因线路
	Glycosyn	美国	2002	岩藻糖基化低聚糖	US15/307914	α (1,2) 岩藻糖转移酶的表达线路
	Green Biologics	英国	2002	3-羟基丙醛	GB2014014737	含甘油二酯脱水酶的生物线路
	Amyris	美国	2003	青蒿素	US11/419975	青蒿素前体的微生物合成
				生物橡胶	US14/062798	甲羟戊酸(MEV)途径合成异戊二烯
				萜类化合物	US13/542491	萜烯合酶变体的宿主细胞
	Evolva	瑞士	2004	白藜芦醇	DK2006708430T	合成白藜芦醇的生物线路
				藏红花化合物	EP2012768896	合成藏红花化合物的生物线路
				罗汉果化合物	EP2012819015	合成罗汉果化合物的生物线路
赤松素				EP2007787741	合成赤松素的生物线路	
Aemetis	美国	2005	乙醇	US12/112776	降解植物的海洋细菌(CSaccharophagusdegradans)的纤维素酶和辅助酶、酶混合物	
Gevo	美国	2005	异丁醇	PCT/US2013/041064	表达转运蛋白的重组酵母	
Lanzatech	新西兰	2005	生物能源	NZ584652	以一氧化碳为底物产乙醇的生物线路	
Global Bioenergies	法国	2008	烯烃	US15/101148	将3-羟基羧酸经酶促转化为3-羟基羧基-核苷酸的生物途径	
Lygos	美国	2010	L-天冬氨酸	CA3042854	编码L-天冬氨酸途径酶和L-天冬氨酸1-脱羧酶	
Nucelis	美国	2010	角鲨烯	US12/471273	乙酰辅酶A羧化酶和HMG-CoA还原酶组成的线路	
Silicolife	葡萄牙	2010	正丁醇	PCT/EP2019/057944	表达2-羟基戊二酸脱氢酶,谷氨酸-CoA转移酶,戊二酰辅酶A-脱氢酶等的基因线路	



	Calysta	美国	2012	FeedKind (用天然气制蛋白质或其他化合物)	US15/311080	以天然气或甲烷为原料, 利用重组 C1 代谢微生物, 制备脂肪酰-辅酶 A、脂肪醛、脂肪醇、脂肪酯蜡、烷类和酮类等极长碳链化合物 (长于 C24)
	Biosyntia	丹麦	2012	维生素 B1	EP2016822958	合成硫胺素的大肠埃希氏菌细胞工厂
	Versalis	意大利	2012	纤维素的降解	US15/361732	含淀粉水解酶等元件
	Zymergen	美国	2013	工业菌株	US16/313613	葡萄糖通透酶基因, 及其受天然谷氨酸棒杆菌启动子或由其衍生的突变启动子控制的表达线路
	Zymochem	美国	2013	生物基化学品	IN201627009507	表达己二酸途径酶, 6-氨基己酸途径酶, ε-己内酰胺途径酶, 6-羟基己酸途径酶等的基因线路
	Antheia	美国	2013	生物碱	US16/149025	工程化的差向异构酶
	String Bio	印度	2013	琥珀酸	IN1910CHE2014	以有机废物/生物气/甲烷为原料生产的微生物
	Industrial Microbes	美国	2013	以甲烷为原料的化合物制造系统	US15/777158	可溶性甲烷单加氧酶系统
	20N Labs	美国	2013	有机物合成的开源平台	US15/408319 US15/408317	生物合成对乙酰氨基酚、对氨基酚和对氨基苯甲酸 肌肽和 β-丙氨酸的生物合成
	Colorifix	英国	2016	微生物染色织物	US15/564713	合成色素的生物线路
	Lumen Bioscience	美国	2017	甘油三酯	US13/761025	编码二酰甘油酰基转移酶等的蓝细菌基因线路
农业	KWS SAAT SE	德国	1856	植物育种	DE102006029129	病原体-诱导合成启动子
	先正达/中化	瑞士/中国	2000 (合并而来) /2019	植物调节序列	EP2009798436	将目标的编码蛋白的多核苷酸的表达导向非花粉组织 (不导向花粉组织)
	Cibus	美国	2001	RTDS (植物育种)	US14/777410	寡核苷酸介导的基因修复, 提高靶向基因修饰效率
	Arcadia Biosciences	美国	2002	高 γ-亚麻酸红花 高效氮源利用的 单子叶植物	US13/025345	γ-亚麻酸的生物合成途径
					US11/644321	通过遗传构造修饰以增加丙氨酸转氨酶表达水平
	Agrivida	美国	2003	用于畜牧营养的 GRAINZYME	US14/433104	内含肽修饰的蛋白酶
					US14/433113	
	Recombinetics	美国	2008	基因编辑的动物	US14/698561	利用靶向性核酸酶和同源性定向修复 (HDR) 的编辑
	Benson Hill Biosystems	美国	2012	CropOS 作物设计	US15/324501	转录因子 (TF) 的表达
	Agrimetis	美国	2014	L-草胺磷	US15/445254	D-氨基酸氯化酶 (DAAO) 酶、转氨酶 (TA) 等
	G+Flas Life Sciences	韩国	2014	植物表达系统	KR1020197036068	使用 CRISPR 系统的植物基因组缺失和替换方法
	Egenesis	美国	2015	可移植猪器官	PCT/US2018/028539	产生猪内源性逆转录病毒 (PERV) 元件的多重遗传修饰动物的方法
Tropic Biosciences UK	英国	2016	热带作物改造	GB2017008662	香蕉树的基因组编辑	
食品	味之素	日本	1909	L-氨基酸	JP2005021722	ybjE 基因的增强表达
				L-谷氨酸	JP2012134820	yggB 基因的表达调控
				L 赖氨酸和 L-苏氨酸	JP2004222088	埃希氏菌的生物线路
	C-Lecta	德国	2004	海藻糖	US16335987	热稳定的海藻糖磷酸化酶

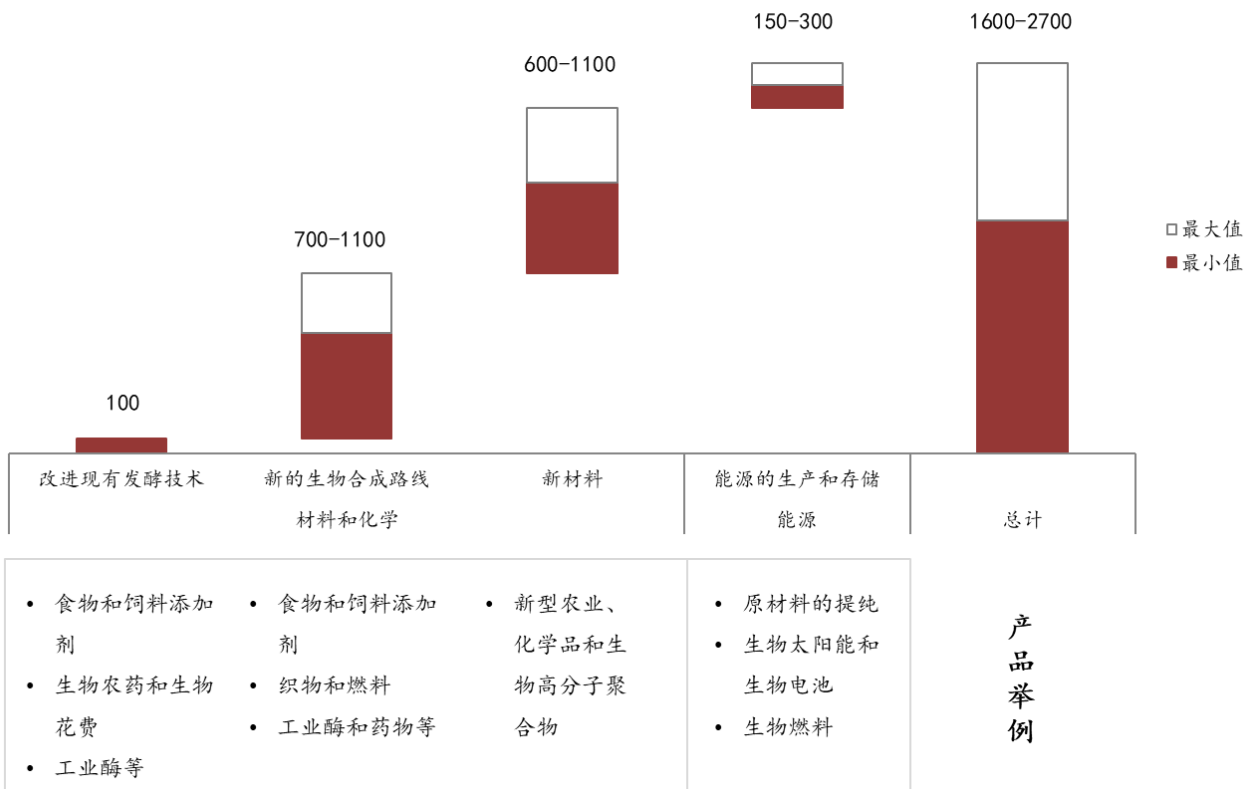
	Ardra Bio	加拿大	2016	香料	US16/225611	用醛缩酶制反式-2-不饱和醛、 δ -内酯和 γ -内酯
	Biocapital	美国	2016	甜菊糖苷	PCT/US2018/050143	合成甜菊糖苷的生物线路
				类胡萝卜素	PCT/US2017/058940	合成类胡萝卜素的生物线路
	Impossible Foods	美国	2011	人造肉	US15/678891	转录激活因子与甲醇诱导型启动子元件连接
环境和卫生检测	Sample6 Technologies	美国	2009	李斯特菌检测	US14/309389	编码标记物的重组噬菌体
	Carbios	法国	2011	分解聚酯的生物酶	EP:2019070289:W	能够降解含聚酯材料的酶

资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

合成生物学对各行业的影响力逐步提高，未来5年有望达到千亿美元的市场。据McKinsey数据，预计到2025年，合成生物学与生物制造的经济影响将达到1000亿美元。据Transparency Market Research数据，2018年全球合成生物学市场空间已达到49.6亿美元，预计至2027年将超过400亿美元（2600亿元人民币），年复合年增长率（CAGR）为26.3%。据Data Bridge Market Research数据，到2027年合成生物学市场规模将达到303亿美元，复合年增长率为23.6%。根据BCG Research数据，合成生物学领域2017-2022年的复合年增长率（CAGR）为26.0%。合成生物学未来将进入快速发展期，产业链投资速度继续加快，产品产业化也将提速。

图表 12 合成生物学在化工相关市场空间预测

未来10到20年，合成生物学每年对材料、化学和能源的经济影响可能达到2000亿到3000亿美元
2030-2040年，合成生物学每年的间接和直接经济影响（不完全估计）
单位：亿美元



资料来源：McKinsey，华安证券研究所

图表 13 合成生物学在各领域的应用展望

	现阶段	短期	中期	长期
	2020 年以前	2020-2030	2030-2040	2040 以后
人类健康和性能	病原体筛选	液态肿瘤的 CAR-T 细胞疗法	基因用以预防媒介传染疾病	干细胞产生的可移植器官
	无创产检	液体活检	实体瘤的 CAR-T 细胞疗法	用于医学的胚胎编辑（如利用 CRISP 技术）
农业、水产养殖和食品	标记辅助育种（用于食品的作物和动物）	植物基蛋白	人工培养肉	通过增强光合作用加快生长的基因工程作物
	食品来源、安全性和真实性的基因追踪（如过敏原、物种和病原体）	作物微生物组基因诊断和益生菌治疗	能快速生长的基因工程动物	
消费品服务	DTC 基因遗传测试	基于遗传和微生物组的个性化膳食服务	基于组学数据的个人健康、营养和健康状况的生物监测传感器	基因治疗（如皮肤衰老）
		DTC 基因测试：关于健康和生活方式的特殊护理		
材料、化学品和能源	新的生物合成路线——药物	新型材料：生物农药/生物肥料（如 RNAi 农药）	新材料——生物高分子聚合物（如 PLA 和 PET）	生物太阳能电池和生物电池
	改进现有发酵工艺——生物农药和生物肥料	改进现有发酵工艺： (1) 食品和饲料成分（如：氨基酸、有机酸） (2) 工业酶（如：洗涤酶） (3) 织物和染料（蘑菇皮革和蜘蛛丝） (4) 生物农药和生物肥料（如 RNAi 农药）		
	改进现有发酵工艺——其他（如水凝胶、香料香精、化妆品）	(5) 化学品（如 IC 工艺化学品） (6) 利用基因工程微生物提取原料（如：利用微生物提高采油率） (7) 生物燃料 (8) 其他（如角鲨烯）		
其他应用	法医 DNA 测序取证		封存 CO ₂	
			生物修复污染	

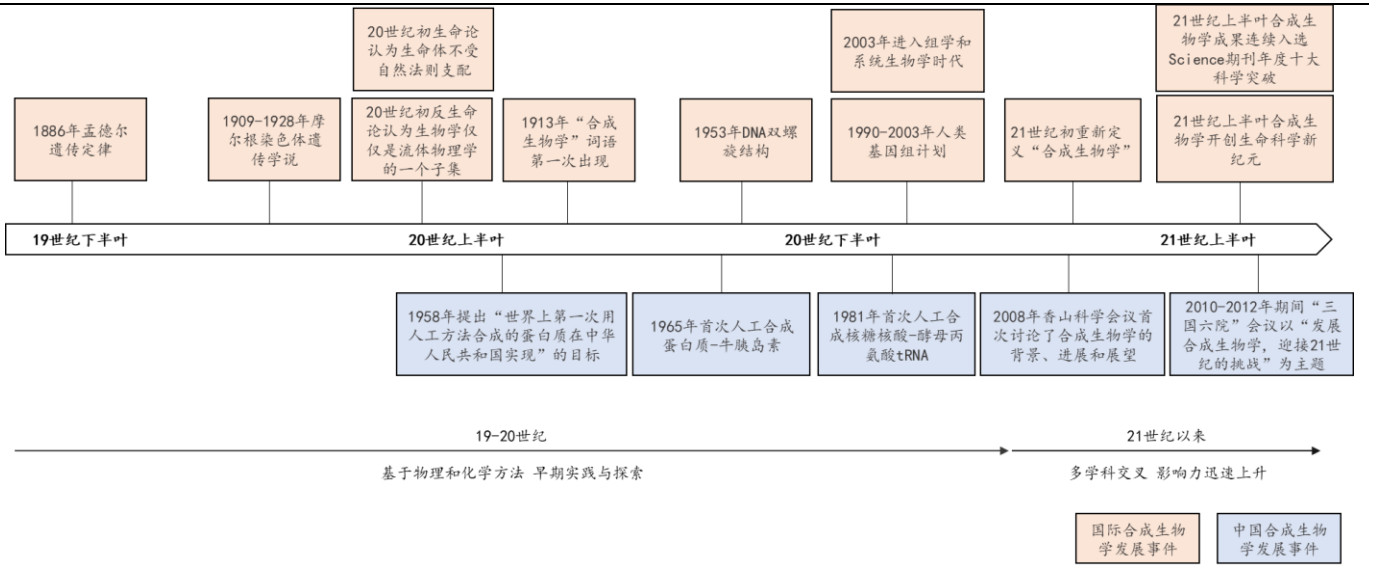
资料来源：McKinsey，华安证券研究所

1.3 合成生物学发展复盘

合成生物学的发展始于人类对基因的认识，并在 21 世纪进入快速发展期。19 世纪下半叶以来，生命科学研究领域每 50 年左右便竖起一座里程碑，包括孟德尔遗传定律（1866 年）、摩尔根的染色体遗传学说（1909~1928 年）、沃森和克里克构建的 DNA 双螺旋结构模型（1953 年）以及人类基因组计划（1990~2003 年）。人类基因组计划的完成推动生命科学进入组学和系统生物学时代。而系统生物学与基因技术、工程科学、合成化学、计算机科学等众多学科交叉融合，又催生和振兴了合成生物学。作为一门典型的新兴和汇聚科学领域，合成生物学的影响力在 21 世纪以来迅速上升。2014 年，美国国防部将合成生物技术列为 21 世纪优先发展的六大颠覆性技术之一；英国商业创新技能部将合成生物技术列为未来的八大技术之一；我国在 2014 年完成的第三次技术预测中，将合成生物技术列为十大重大突破类技术之一。我国在“十三五”科技创新战略规划中，已将合成生物技术列为战略性前瞻性重点发展方向。麦肯锡全球研究院（McKinsey）

Global Institute) 发布的研究报告将合成生物学列入未来十二大颠覆性技术之一的“下一代基因组学”之中。

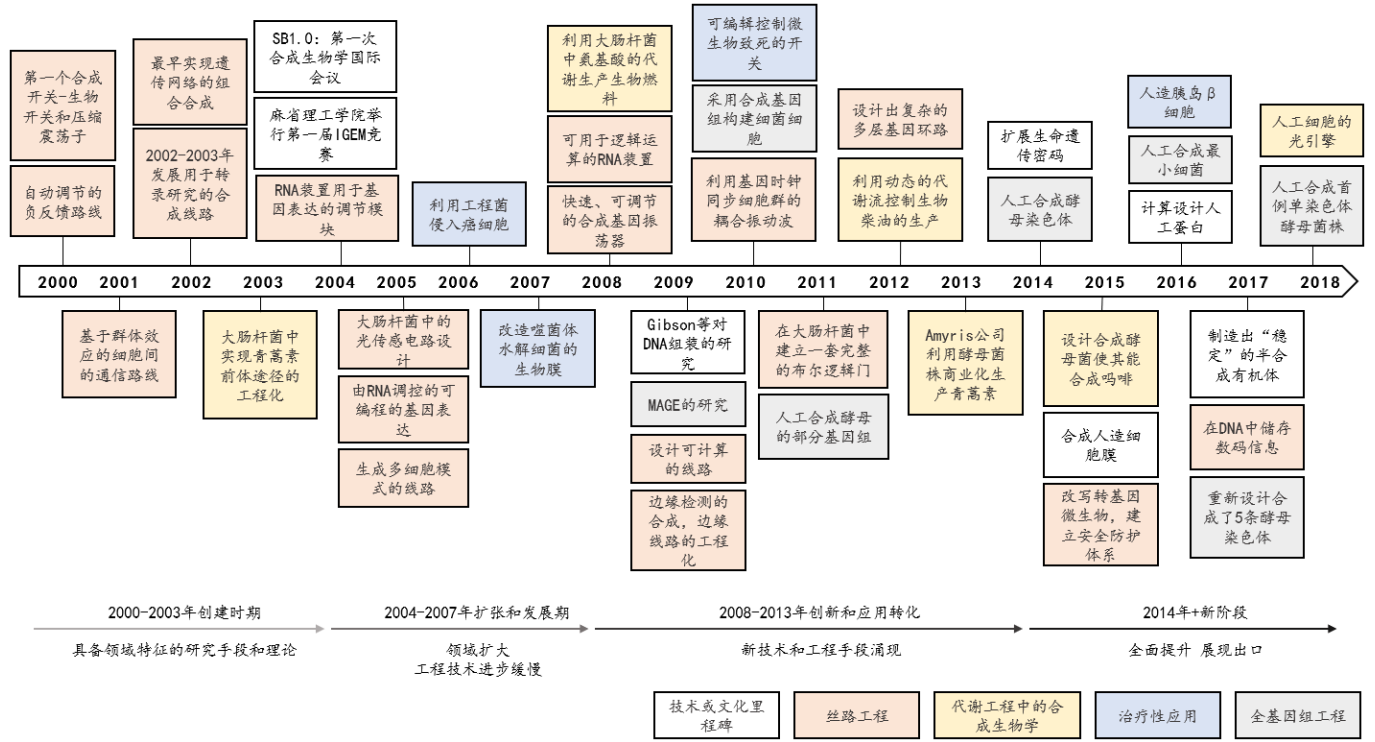
图表 14 合成生物学发展历史



资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

21 世纪以来，合成生物学的发展可以分为四个阶段：（1）创建时期（2000—2003 年）：产生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成功运用。（2）扩张和发展期（2004—2007 年）：应用领域有扩大趋势，但工程技术进步比较缓慢。（3）快速创新和应用转化期（2008—2013 年）：涌现出的新技术和工程手段使合成生物学研究与应用领域大为拓展，特别是人工合成基因组的能力提升到了接近 Mb（染色体长度）的水平，而基因组编辑技术出现前所未有的突破。（4）发展新阶段（2014 年后）：全面推动合成生物学产业化使技术的工程化平台建设与生物医学大数据的开源应用相结合。

图表 15 21 世纪以来合成生物学研究进展



资料来源: 中国科学院, 华安证券研究所

合成生物学领域的基础研究、应用开发、产业投资相继进入快速发展期。21 世纪以来, 合成生物学基础研究领域加速发展; 2011 年以来, 合成生物学技术的专利布局进入加速期, 相关专利的申请量快速增长; 2015 年以来, 合成生物学产业投资加速。从基础研究、专利数量、产业化角度来看, 合成生物学的发展大体经历了四个阶段:

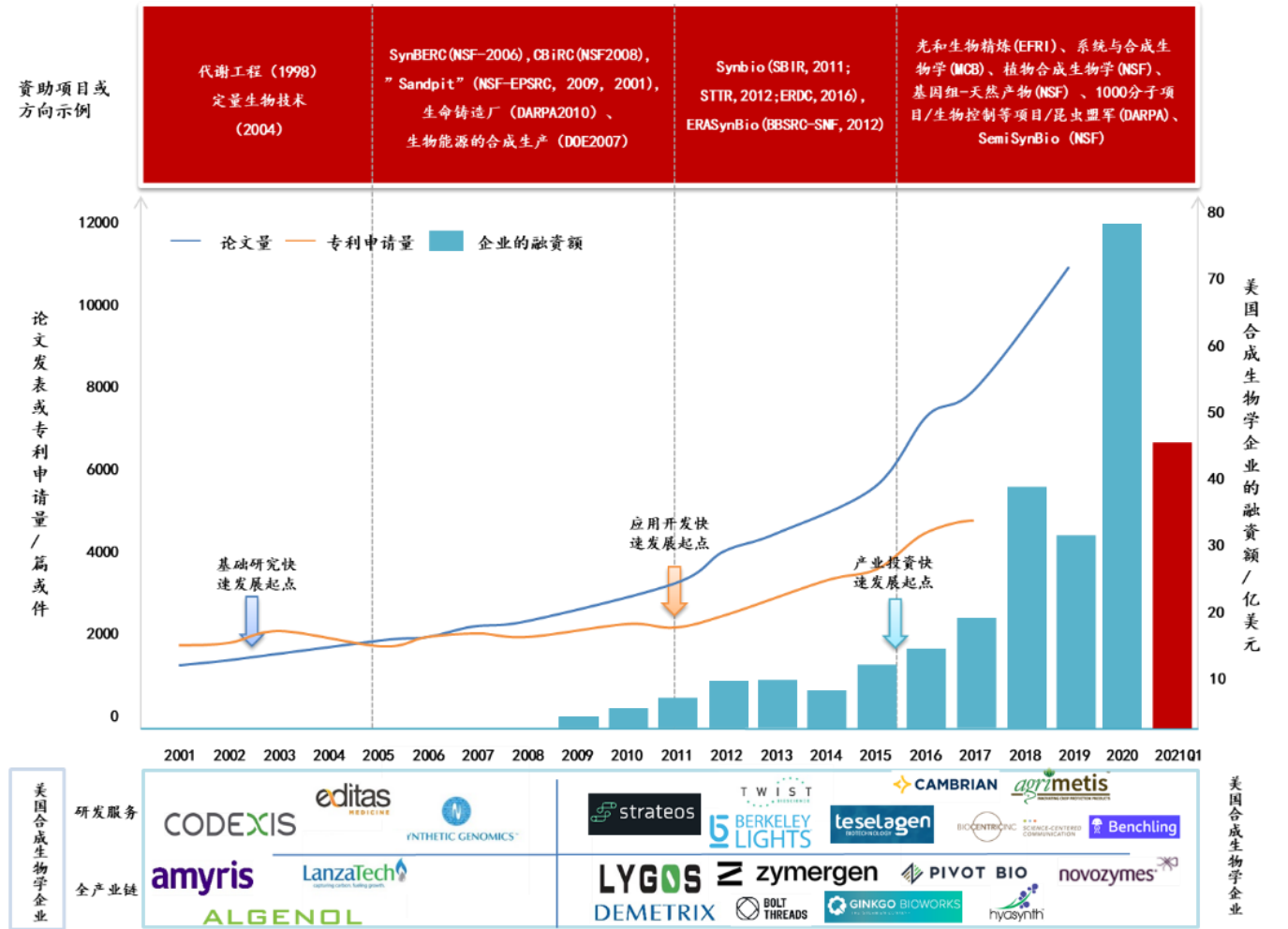
(1) 第一阶段 (2005 年以前): 以基因线路在代谢工程领域的应用为代表, 这一时期的典型成果是青蒿素前体在大肠杆菌中的合成。

(2) 第二阶段 (2005—2011 年): 基础研究快速发展, 年度的专利申请量较之前并未有显著增加, 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。

(3) 第三阶段 (2011—2015 年): 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。

(4) 第四阶段 (2015 年以后): 合成生物学的“设计—构建—测试”(Design-Build-Test, DBT) 循环扩展至“设计—构建—测试—学习”(Design-Build-Test-Learn, DBTL), “半导体合成生物学”(Semiconductor Synthetic Biology)、“工程生物学”(Engineering Biology) 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。

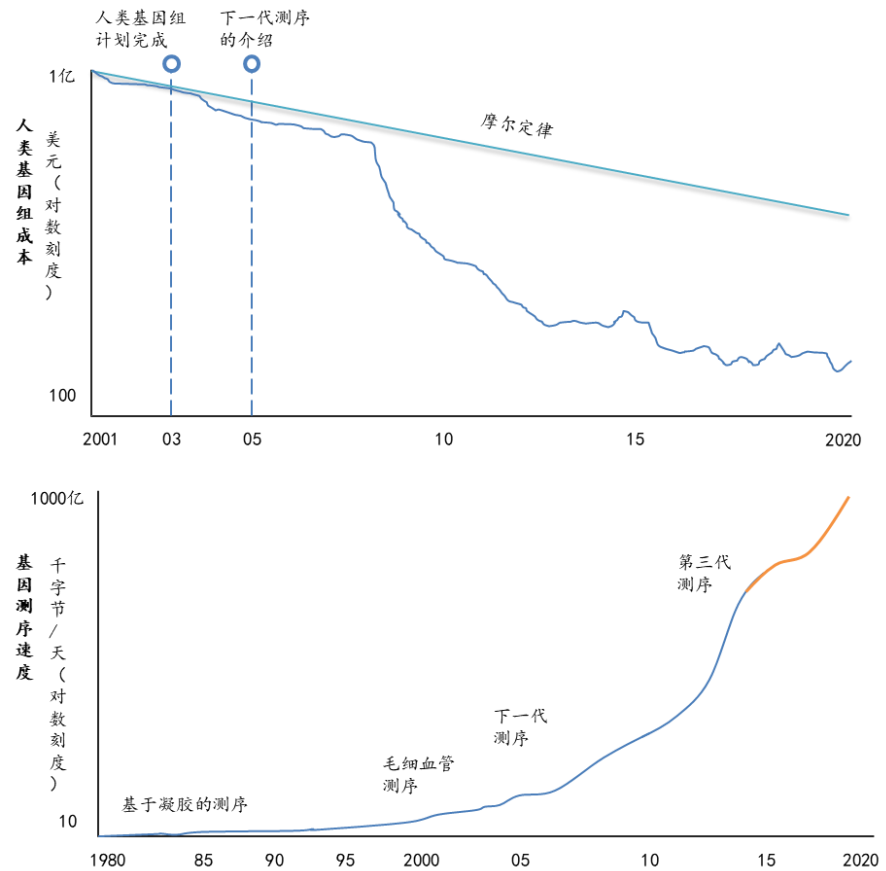
图表 16 合成生物学从科学研究走向产业化



资料来源: SynbioBeta, Web of Science, 《合成生物学》, 华安证券研究所

基因测序成本和基因编辑成本的下降是合成生物学快速发展的重要原因。目前, DNA 测序成本的下降速度已经快于摩尔定律。2003 年绘制人类基因组图谱耗费约 30 亿美元; 2019 年仅需花费不到 1000 美元; 未来十年甚至更短时间内成本可能会降到 100 美元以下。

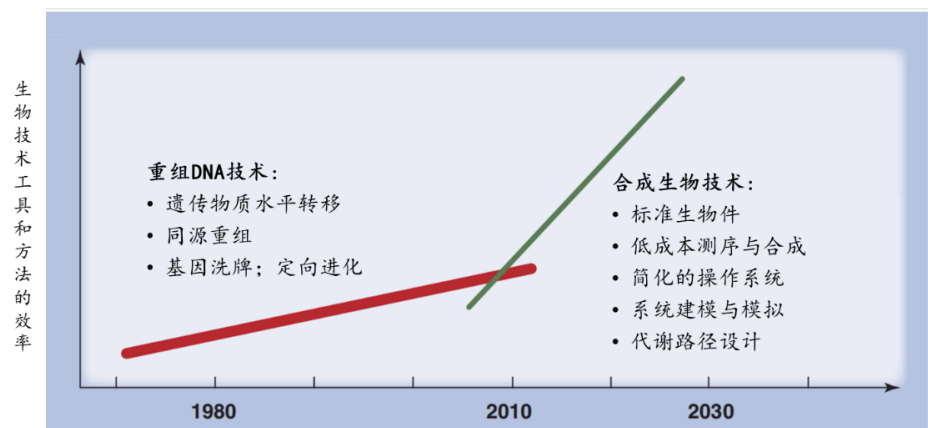
图表 17 基因测序成本变化



注：图中标注的数据和成本不包含基因组测序的所有成本，仅包括与生产相关的成本（例如劳动力、仪器、信息学、数据提交等）

资料来源：NHGRI，麦肯锡，华安证券研究所

图表 18 生物技术更替路线



资料来源：《Synthetic Biology》，华安证券研究所

1.4 合成生物学主要工具

合成生物学的主要工具包括微生物细胞工厂构建技术、微生物高效合成化学品的代谢调控机制、无细胞合成技术。在合成生物学产业化的过程中，需要通过改造已有微生物细胞或设计并创建新的微生物元件，使底盘生物实现其特定的生物学功能。而在改造或创制这些微生物的过程中，需要对底盘生物基因组进行精简、插入或重构，而高效精准的基因编辑技术成为解决这些问题的有效手段。基因组编辑技术作为基因工程、代谢工程、医学研究等领域的重要技术，一直以来都是研究热点。传统的基因编辑方法如同源重组，存在打靶效率低、操作时间长和操作烦琐等问题。为了解决这些问题，陆续出现了P1转导技术、锌指核酸酶技术、RNA干扰技术和转录激活因子效应蛋白核酸酶技术等。CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) 技术的出现，大大提高了基因组编辑的效率，同时降低了成本，使合成生物学的盈利成为可能。

图表 19 合成生物学的主要工具

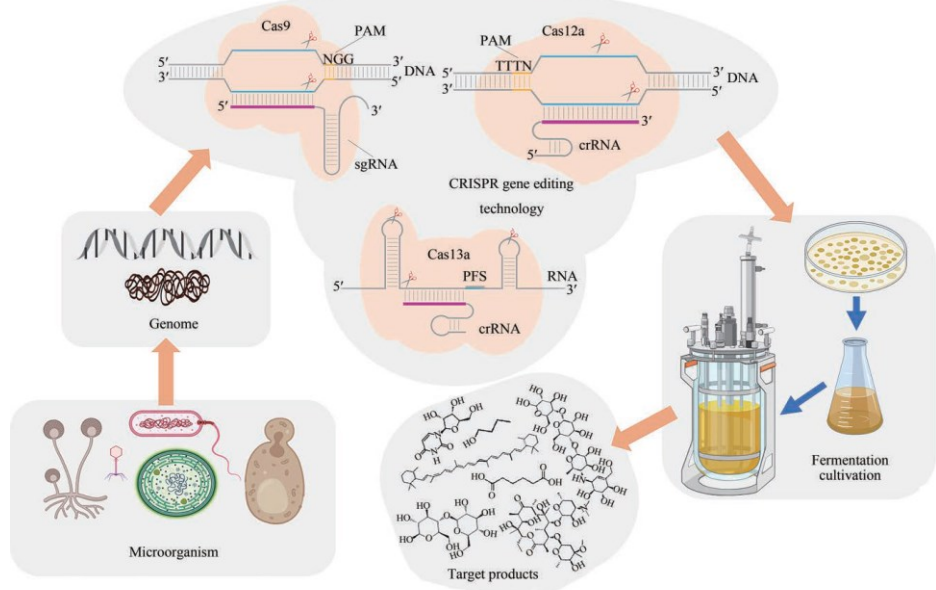
大类	小类	释义
微生物细胞工厂构建技术	基因组编辑技术	细胞工厂代谢途径构建及优化的重要技术。 通常的基因编辑技术有：Red 同源重组技术、锌指核酸酶技术、转录激活因子效应物核酸酶技术等。这些基因编辑技术在合成生物学的发展中具有“里程碑”式的意义，但存在耗时长、成本高及宿主局限性等缺陷，无法满足高效构建细胞工厂的需求。 CRISPR 基因编辑技术具有操作简单、基因编辑效率高、成本低廉等优势，近年来得到了深入的开发，并广泛应用于生物及医药领域。
	多基因同时调控技术	高效的产物合成途径不仅受限于某个单一的限速步骤，而是依赖多个酶的协同平衡。虽然通过质粒过表达的方式可以实现单一基因的过表达，但同时也会造成细胞代谢高负荷，对生长代谢和产物合成均不利。通过多基因同时调控技术，可以合理调控代谢途径表达的平衡。
	蛋白骨架技术	在细胞工厂的代谢途径中，参与反应的酶与底物之间的距离及合成途径上相邻的酶所处的空间位置是影响代谢途径效率的一个重要因素。通过人工合成蛋白质骨架的技术，使酶按照特定的空间位置锚定在骨架上，可以使相关的酶聚集在特定的区域，增加了酶与底物的结合概率，进而提高产物合成速率。另外，蛋白质骨架也可以调节酶的催化效率，获得最优的催化效率组合，最终提高产物合成效率。
	基因动态调控技术	基因动态调控技术的基本思路是：设计人工基因回路，使细胞能够感应外部环境条件的变化，在适当时间开启或关闭基因表达从而实现代谢通路的动态调控。 已经建立的基因动态调控技术有：环境信号诱导的表达调控系统（如碳源调控系统、光调控系统和温度调控系统等）和内源信号诱导的表达调控系统（如群体感应调控系统和压力感应调控系统）。基因动态调控技术为细胞根据外部环境按需调控目的基因表达强度提供了技术方法。
	高通量筛选技术	细胞工厂的快速构建离不开高通量筛选技术的助力。 微孔板是常用的高通量筛选试验器具，孔板内发生的生物、化学和物理变化事件可以由多功能酶标仪、流式细胞仪、液相色谱仪和质谱仪等检测仪器连续自动化读取。 高通量筛选技术已用于基因调控元件强度分析、酶元件的新活性检测、基因线路的活性检测、天然产物的活性筛选等。
微生物高效合成化学品的代谢调控机制	物质代谢调控	微生物化学品的合成途径由多步生化反应组成，参与反应的酶元件与合成途径的适配性，影响着产物合成的效率。蛋白酶催化活性太低，成为整条途径的限速步骤；蛋白酶催化活性太高，而下游蛋白催化活性又较低，又会造成中间代谢物的积累。某些中间代谢物甚至对细胞会有较大的毒性，影响细胞的生长。
	能量代谢调控	还原力和 ATP 是能量代谢的关键调控因素。细胞在代谢葡萄糖等底物时产生还原力，在合成化学品时需要还原力。还原力供给量若小于需求量，会影响化学品的转化率和合成途径效率。另外，细胞需产生足够的 ATP 供细胞生长和产物合成。
	细胞代谢调控	优越的细胞生理性能是获得高效细胞工厂的关键因素之一。耐渗透胁迫是细胞生理性能的重要方面。对于分泌到胞外的大宗化学品，产量越高，渗透胁迫越大，细胞需具备耐渗透胁迫能力才能获得高产量。

无细胞合成技术	在体外组装大量酶和辅酶以实现复杂的生物转化，具有反应条件较温和、易于调控、产率高的特点。
---------	--

资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

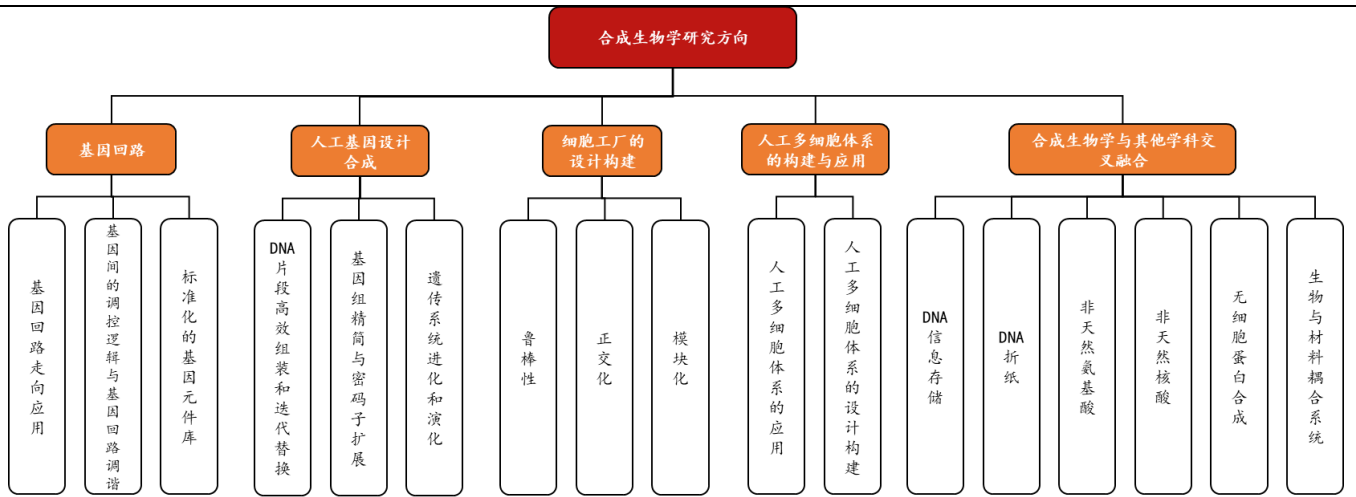
CRISPR 技术是一种成本低、操作简便、效率高、功能多样的基因编辑技术，近年来被广泛应用于合成生物学、代谢工程和医学研究等领域，并彻底改变合成生物学学科。研究人员利用 CRISPR 技术可以更快、更精确地编辑基因。在大宗化学品代谢途径构建和改造中，CRISPR/Cas 基因编辑技术展现了广泛的适用范围，不仅开发和设计出了大量新的基因编辑元件、工具和基因线路，还成功地应用于大肠杆菌、谷氨酸棒杆菌、丙酮丁酸梭菌、链球菌、芽孢杆菌等原核微生物及酿酒酵母、曲霉等真核微生物细胞工厂的构建。

图表 20 CRISPR 技术



资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

图表 21 合成生物学未来重要的研究方向



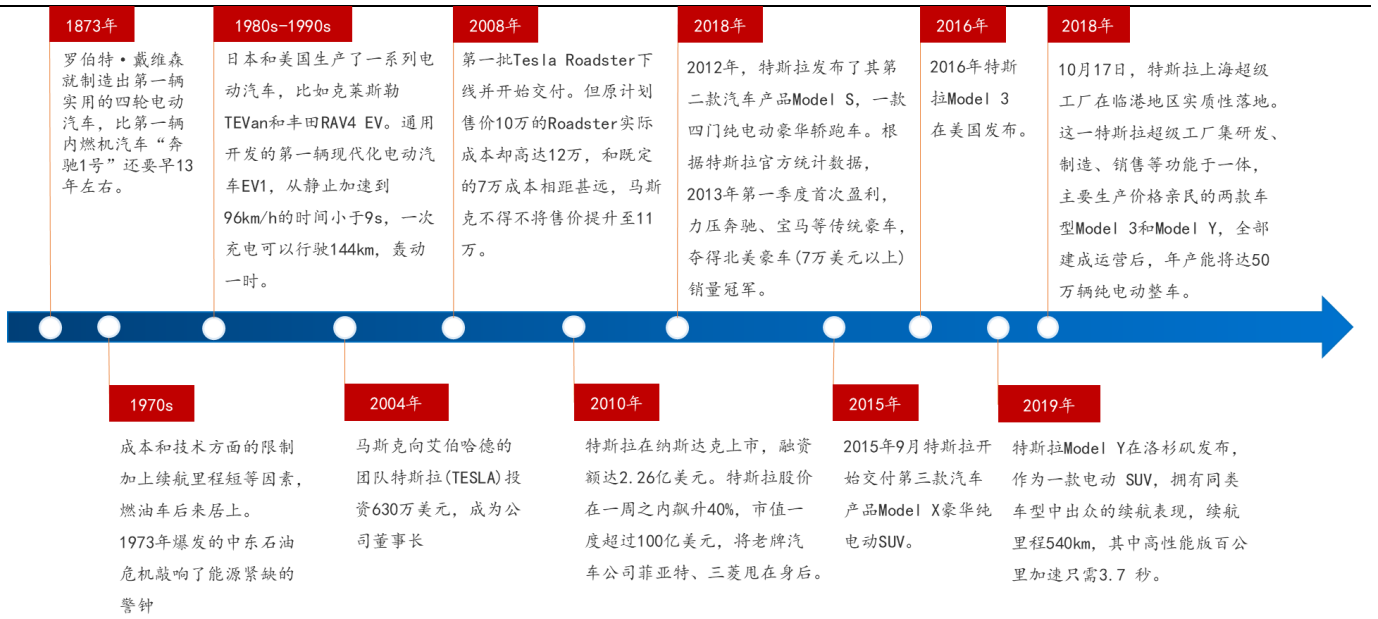
资料来源：《合成生物学》，华安证券研究所

2 合成生物学百家争鸣

有一个角度可以观察一个产业的发展阶段，那就是产业中大部分企业的融资方式。如果全部企业都是通过一级市场融资，说明产业处于导入期；如果开始有企业陆续上市，在二级市场融资，说明产业进入成长期；如果大量企业上市层出不穷，说明产业进入快速成长期。例如，电动车产业的发展主要看特斯拉的上市，以及 2018 年单季度盈利转正，随之而来的是整个产业的两次大爆发。对比合成生物学产业，全球主要有 5 家上市公司，近一年内集中上市 4 家公司，分别是凯赛生物、华恒生物、Zymergen、Ginkgo Bioworks。我们华安化工认为，合成生物学领域多家公司集中上市代表这一领域已进入成长期。

从产业链布局的角度来看，合成生物学的公司可以分为两类：一类是实现从基因编辑到产品落地的全产业链公司，既有合成生物学技术储备，又有市场化产品落地；另一类是以服务为主，提供基因编辑和细胞工厂的研发型公司，业务以提供合成生物学技术支持为主，产品以代工厂生产为主。从盈利模式来看，全产业链布局的公司中短期内有望通过替代化学法更快实现盈利；而以服务为主的研发型公司将在合成生物学行业生态建立起来后，通过更高效专业地为大量代工企业服务获利。截止目前，国外从事合成生物学领域的公司已经近 500 家，国内相关领域的公司也多达数十家，可谓百家争鸣、百花齐放。

图表 22 以特斯拉为代表的新能源汽车发展史



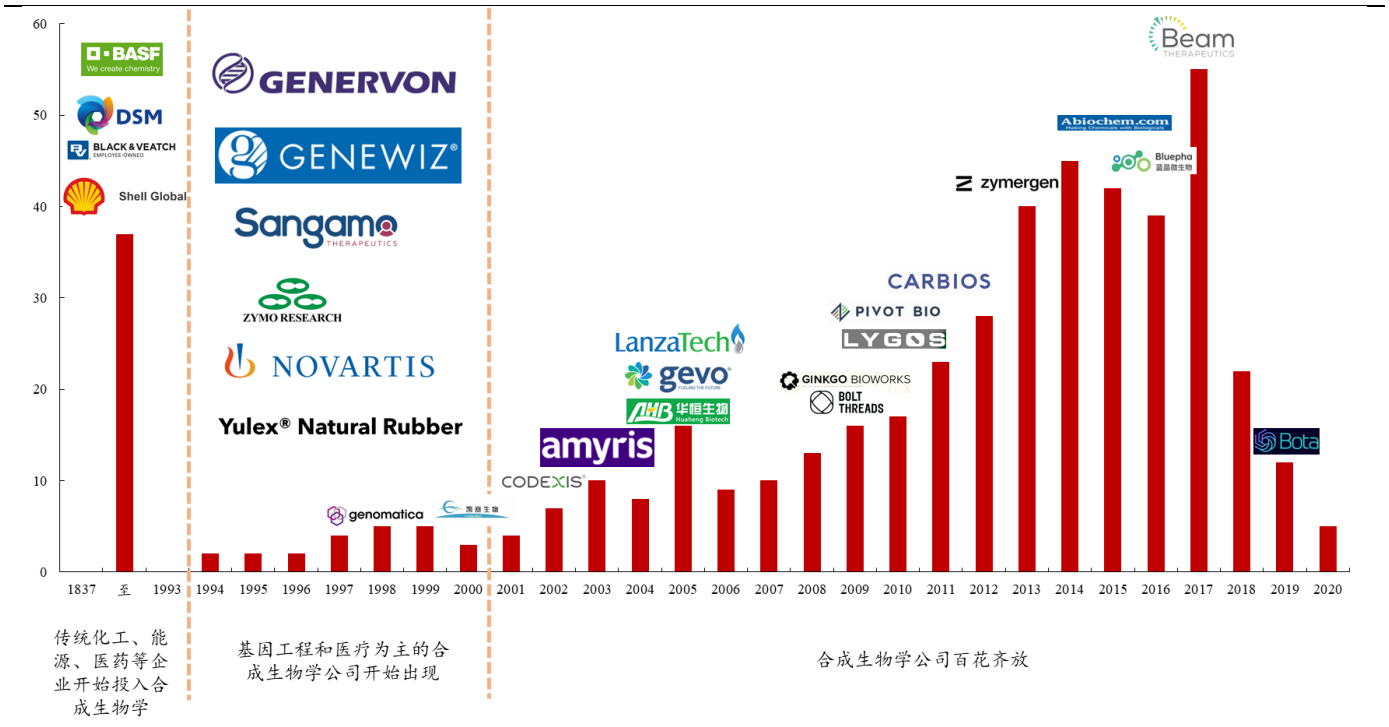
资料来源：特斯拉官网，华安证券研究所

随着合成生物学的发展，基因测序、基因编辑、产品分离纯化等步骤的成本不断降低，生物法可制备的化学品种类不断丰富拓展，部分以合成生物学为基础的生物化工公司逐步开始盈利。以凯赛生物和华恒生物为例，公司产品穿越周期，已实现稳定的利润贡献。合成生物学的经济杠杆正在发挥积极作用。特定化学品的成本优势，使以合成生物学为基础的生物化工行业已逐步从政策导向向经济导向转变。全球范围来看，与国外合成生物学代表性公司相比，国内公司在盈利能力方面更具有优势。造成这一差

距的原因主要是因为国内合成生物学代表公司均有成熟的产品提供稳定的收入和利润来源；而国外公司主要通过提供服务获利或相关产品认证时间长，在合成生物学产业化起步阶段，短时间内变现难度较大。合成生物学发展是未来材料发展的重要赛道，全球各大化工公司和传统农业公司都投入了大量经费进入合成生物学的领域，用合成生物学的方法制造生物材料来替代传统的化工材料。

从产业链布局的角度来看，合成生物学的公司可以分为两类：一类是实现从基因编辑到产品落地的全产业链公司，既有合成生物学技术储备，又有市场化产品落地；另一类是以服务为主，提供基因编辑和细胞工厂的研发型公司，业务以提供合成生物学技术支持为主，产品以代工厂生产为主。从盈利模式来看，全产业链布局的公司中短期内有望通过替代化学法更快实现盈利；而以服务为主的研发型公司将在合成生物学行业生态建立起来后，通过更高效专业地为大量代工企业服务获利。截止目前，国外从事合成生物学领域的公司已经近 500 家，国内相关领域的公司也多达数十家。这些公司中可以大致分为三类：（1）早已成立的传统化工、能源、医药企业，开始在合成生物学领域开始投资布局；（2）1994-2000 年成立的基因工程和医疗相关的业，尝试进行合成生物学在小范围领域的应用；（3）2000 年后，专注合成生物学的公司开始百花齐放。

图表 23 海外合成生物学相关企业数量和成立时间统计



资料来源：华安证券研究所整理

目前，合成生物学产业层结构主要分为三层：国内企业基本上都集中在工具层和应用层，但是在美国部分企业，如：Ginkgo Bioworks、Zymergen 等公司已经贯穿三层，实现全产业层级的布局，壁垒比较高。

图表 24 合成生物学的层级结构



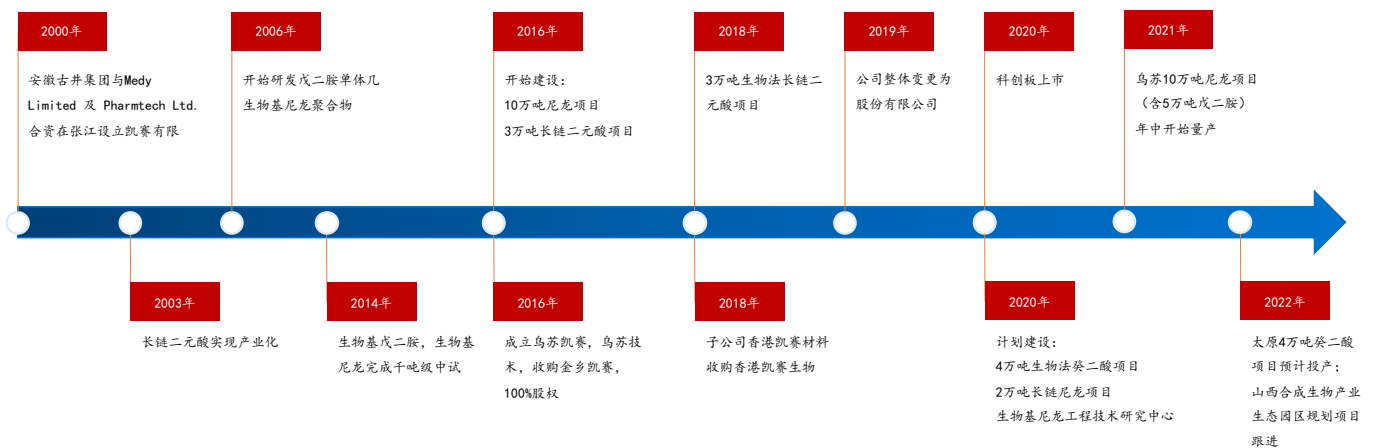
资料来源：蓝晶微生物，华安证券研究所

2.1 生产型公司

2.1.1 凯赛生物：全球合成生物学领军者

凯赛生物是一家掌握了产业链上游基因工程和菌种培养相关技术的平台型公司，完整布局了生物化工领域从基因工程——菌种培养——生物发酵——分离纯化——化学合成——应用开发的全产业链。我们认为凯赛生物的战略布局清晰：1) 用生物基尼龙打开生物材料的大场景，全面替代化石基尼龙材料，还有一部分其他塑料或化纤材料。2) 打开大场景后，解决粮食原料的问题。从而可以利用非粮原料来做成熟产品和市场，市场空间更大。3) 建立高通量研发和产业化设施，预计可以大幅节省筛选菌种和配套工艺的时间，构建更强的壁垒。公司由刘修才于 2000 年创立，总部位于上海。公司于 2020 年 7 月上市，通过发行新股募集资金 52.8 亿元人民币。

图表 25 凯赛生物公司发展历程



资料来源：凯赛生物招股说明书，华安证券研究所

图表 26 凯赛生物融资历程

时间	事件
2016 年 1 月	募集了 7000 万元人民币的战略融资。
2018 年 1 月	从华宇瑞泰、汕民投等募集了 6.43 亿元人民币的战略融资。
2018 年 8 月	从迪维投资募集了 7.73 亿元人民币的融资。
2019 年 9 月	从招银朗曜、招银一号、招银共赢等募集了 10 亿元人民币的融资。
2020 年 8 月	上市发行新股募集了 55.6 亿元人民币。

资料来源：凯赛生物招股说明书，华安证券研究所

图表 27 凯赛生物核心人员简介

人员	职务	简历
刘修才	创始人、董事长兼总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 中国科学技术大学博士研究生，美国威斯康星大学-Milwaukee 分校生物化学博士，耶鲁大学医学院药理学系博士后，哥伦比亚大学医学院生物化学及生物物理系博士后 ➢ 主导公司核心技术和产品研究方向、生物代谢途径、微生物和酶转化、生物反应体系的提取纯化、生物高分子聚合机理、生物材料改性、生物材料应用技术的研发和产业化的安排 ➢ 研究成果为生物基聚酰胺及其单体的研究、产业化和应用技术，攻克生物基戊二胺技术瓶颈，实现生物基聚酰胺的中试、试生产和产业化 ➢ 署名专利 238 项
徐敏	核心技术人员	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 江南大学发酵工程硕士 ➢ 主持研发中心的日常管理工作并带领生物发酵团队，参与建立凯赛发酵菌种的高通量筛选平台，筛选得到高产菌株，优化培养基配方，开发发酵新工艺，显著提高发酵收率，大幅降低生产原料单耗和能耗，降低生产成本，显著减少废弃物产生，并成功实现了产业化放大；主导微生物代谢调控和微生物高效转化技术 ➢ 主要研究成果为利用高通量菌种筛选平台筛选得到长链二元酸工业化高产菌株；开发长链二元酸发酵新工艺；开发智能控制系统，实现生物法长链二元酸系列产品、生物基戊二胺产品在生物发酵过程中的稳定控制
杨晨	核心技术人员	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 华东理工大学化学工程博士 ➢ 负责凯赛生物化学部的研发管理工作，主导公司产品的提取纯化工艺研发、质量管控、平台建设、设备选型和生产技术升级优化等工作 ➢ 担任国家高技术研究发展计划（863 计划）《生物法生产长链二元酸关键技术开发及应用示范》（2015AA021002）课题承担单位课题负责人，主导生物转化/发酵体系的分离纯化技术。主要研究成果为长链二元酸提取工艺开发与优化、戊二胺提取工艺开发与优化、聚酰胺 5X 盐提取与纯化技术开发、提取工艺新设备和自动化 ➢ 拥有署名发明专利共 58 项
秦兵兵	核心技术人员	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 华东理工大学应用化学硕士 ➢ 负责凯赛生物材料部聚合组的研发管理工作，参与开发、优化公司相关产品的提取工艺技术，显著降低产品杂质，降低工艺能耗，优化工业化放大工艺和设备，制定新工艺的质量标准，稳定产品质量；主导长链二元酸的多种提取纯化工艺、戊二胺分离工艺、戊二胺盐转化工艺、连续聚合反应工艺等的开发和改进；主导聚合工艺及下游应用开发技术 ➢ 主要研究成果为针对不同下游应用的聚酰胺聚合物进行配方开发、产品试制和质量指标设定；聚酰胺寡聚物和凝胶组成的抑制和优化；共聚酰胺的开发和应用；聚酰胺抗氧化添加剂的筛选工作等。 ➢ 拥有署名发明专利共 180 项

资料来源：凯赛生物招股说明书，华安证券研究所

公司主营长链二元酸系列、生物基戊二胺和生物基尼龙。长链二元酸方面，公司于 2003 年开始了长链二元酸产业化进程，产能不断扩张，随着 2018 年乌苏技术 3 万吨/年的长链二元酸投产，产能达到了 7.5 万吨/年，现有产能主要分布在山东济宁和新疆

乌苏两个生产基地，占据国内 95%以上，全球 80%以上的市场份额。公司还在山西太原规划了 8 万吨的癸二酸产能。戊二胺及尼龙方面，公司于 2006 年开始以玉米为原料研发戊二胺单体及生物基尼龙聚合物，于 2014 年产业化试运行，2016 年完成 5000 吨级生产线生产。公司 10 万吨/年生物基尼龙项目（含 5 万吨/年戊二胺）预计 2021 年 6 月投产。

公司拟建山西合成生物产业生态园区，打开成长空间。公司计划与山西转型综合改革示范区管理委员会合作在山西转型综合改革示范区投资打造“山西合成生物产业生态园区”，计划总投资 250 亿元，分期分步实施建设。其中，一期项目包括 8 万吨生物法长链二元酸项目（含已募投的 40000 吨/年癸二酸实施地变更）、240 万吨玉米深加工项目、50 万吨生物基戊二胺项目和 90 万吨生物基尼龙项目。一期项目以 IPO 募集资金、经营积累的自有资金，以及其他自筹资金合计出资 40.1 亿元，山西综改区管委会及其协调的国有主体、政府产业基金合计出资 39.9 亿元。公司的重要产业化基地，还将吸引纺织、电子电器、汽车等生物基新材料下游产业，形成合成生物材料的产业集群。借此机会，公司可以加快研发成果的产业化，在扩大主要产品产能的同时优化产品结构，加强与下游产业链的合作，建设生物材料产业集群，助力山西省产业转型升级，进一步提高公司在市场中的竞争地位。此外，生物基尼龙产品的规模化生产也有望解决国内双单体尼龙行业核心原材料依赖进口的瓶颈难题。

产品不断迭代是创新型公司发展的基础。凯赛在研项目丰富，涉及技术开发、产业化推进、应用开发等多个领域。公司的在研项目可分为六个系列，分别为生物基制造平台建设、生物基聚酰胺单体-长链二元酸系列产品研究、生物基聚酰胺单体-生物基戊二胺产业化技术开发、生物高分子材料聚合研究、生物基材料在纺织领域应用技术开发、生物基聚酰胺用于汽车部件的工程材料改性技术开发。

图表 28 公司现有和规划产品

产品名称	子公司	位置	现有产能 (吨/年)	在建产能 (吨/年)	规划产能 (吨/年)	备注
长链二元酸 (DC10~18)	金乡凯赛	山东济宁	45000	-		现有产能 2003 年起陆续投产；
	乌苏技术	新疆乌苏	30000	-	-	2018 年投产
	-	山西太原			40000+ 40000 (癸二酸)	实施地点由金乡改为山西太原，4 万吨癸二酸，投资 17.1 亿元，建设期 14 个月，尚未开始建设
戊二胺	乌苏材料	新疆乌苏	-	50000	-	正在调试，预计 2021 年投产，部分自用
	-	山西太原			500000	山西合成生物产业生态园区规划项目
尼龙 5X	金乡凯赛	山东济宁	3000	-	-	2013 年投产，为公司中试装置
	乌苏材料	新疆乌苏	-	100000	-	正在调试，预计 2021 年投产
	乌苏技术		-	-	20000	属于 3 万吨长链二元酸和 2 万吨长链尼龙项目，尚未开始建设
	-	山西太原			900000	山西合成生物产业生态园区规划项目

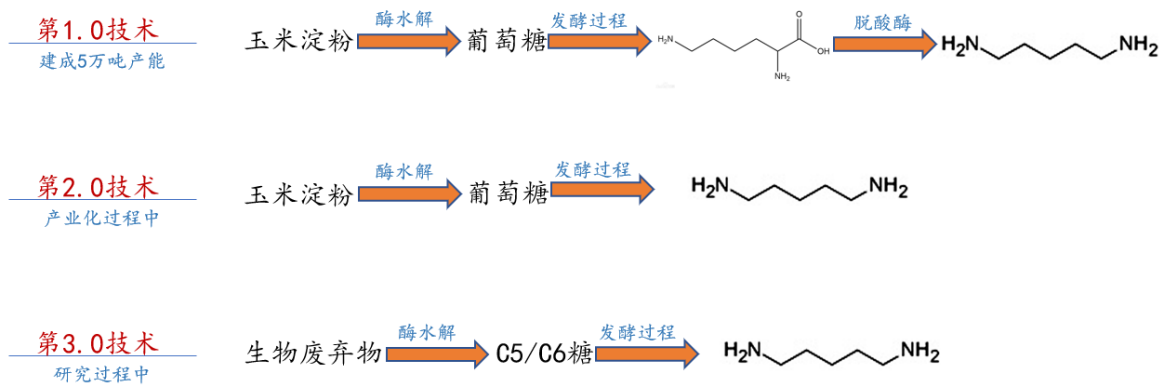
资料来源：凯赛生物招股说明书，华安证券研究所

长链二元酸产品展现了凯赛实力和凯赛速度。长链二元酸行业高度集中，中国是目前全球唯一能够用生物发酵的方法生产长链二元酸，并且实现工业化生产的国家，公司是全球唯一可以量产 DC10~18 的企业。植物油裂解法只能通过裂解菜子油和蒜头果油生产 DC13 和 DC15，不能大规模生产；而化学法只能生产 DC12，反应条件苛刻、步骤多、收率低、成本高、污染严重，因此，植物油裂解法和化学合成法都已经逐渐被生物发酵

法取代。相比其他合成方法，微生物发酵法生产工艺简单、成本低，而且可以合成所有碳链长度的长链二元酸。2016年3月，以化学法生产长链二元酸的英威达公司关闭其在美国的长链二元酸生产线。公司以生物合成技术为杠杆，撬动了以英威达为代表的化学合成在业界的垄断地位，成为长链二元酸市场当之无愧的领航者。凯赛采用13年的时间采用生物制造的方法替代了化学法的月癸二酸，利用三年的时间将市场扩展到三倍，未来公司将利用更低的成本进入更广阔的市场。

凯赛生物是全球唯一有能力量产戊二胺的企业，也是戊二胺领域内专利布局最早、相关专利数量最多的企业。目前计划生产戊二胺的企业包括凯赛生物、日本东丽、日本味之素、韩国希杰、宁夏伊品生物等，除了凯赛的5万吨/产能预计明年投产以外，其他公司尚没有产能投产的消息。戊二胺是以玉米等可再生资源为原料进行生产的，不仅是公司PA5X的重要原料，也可以用于农药、PDI、环氧固化剂、涂料等领域。公司的戊二胺研发经历了三代技术的迭代，第一代主要是三步法，采用玉米淀粉经过酶水解后得到葡萄糖，然后发酵得到赖氨酸，最后通过脱酸酶脱酸得到戊二胺；第二代则直接将最后两步直接发酵一步完成；第三代则主要是通过对原材料进行替代，将玉米淀粉原料替代为生物废弃物。

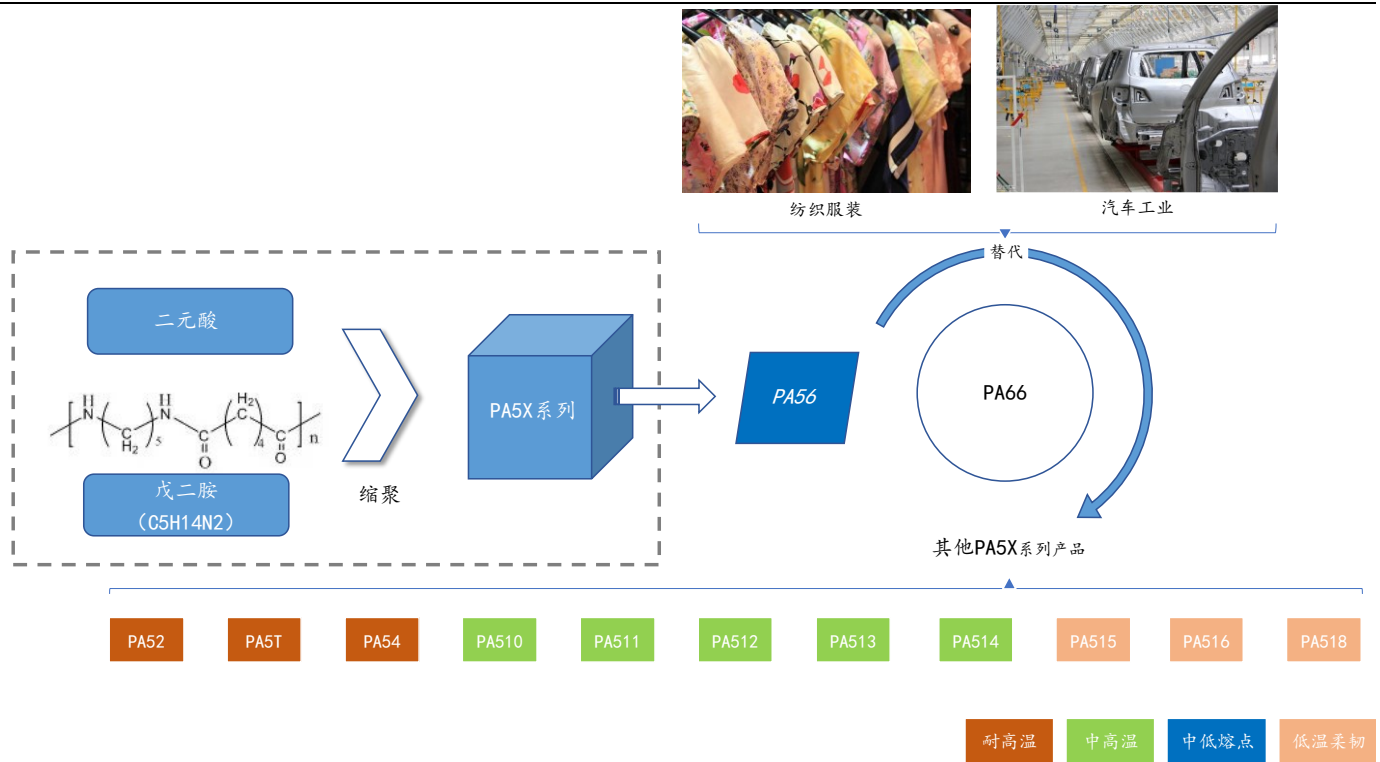
图表 29 凯赛生物戊二胺的三代技术



资料来源：国际生物基产业论坛，华安证券研究所

公司生物基尼龙产品下游应用前景广泛。公司基于自产的生物基戊二胺与二元酸的缩聚得到生物基尼龙产品PA56，具有与PA66相近的性能，在吸水性和仿活性方面甚至更加具有优势。成本上，PA56在单吨投资额、单吨原料成本上都具有优势。尼龙66产品在全球下游市场占据主要地位，其中己二腈为合成尼龙66所用己二胺的必备原料，公司生物基尼龙产品的规模化生产有望解决国内双单体尼龙行业己二腈依赖进口的瓶颈难题。通过戊二胺与不同二元酸聚合，公司已在生物基尼龙领域形成以PA56为主的PA5X系列产品布局，产品根据熔点、柔韧性、吸湿性等性能方面的差异组合以适应下游不同应用场景。应用方面，生物基尼龙产品广泛应用于汽车、电子电器、纺织等多个领域。公司的产品已经初步得到国际化工龙头认可，与杜邦、艾曼斯、赢创、诺和诺德等国际知名企业建立了良好的商务合作关系。

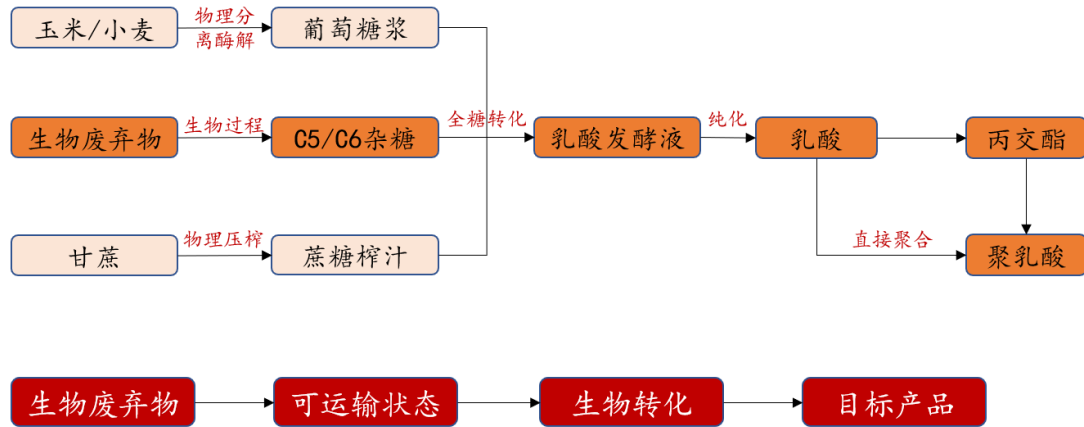
图表 30 凯赛生物尼龙产品布局



资料来源：凯赛生物招股说明书，华安证券研究所

凯赛走在了生物制造原料替代前列，山西的秸秆制乳酸项目示范线有望在 2021 年投产。随着生物制造企业的不断发展，对原料的需求也将日益增加，寻求玉米、小麦和甘蔗之外的生物制造原料也是将来不得不面临的问题，而在众多替代品中，秸秆是一种比较理想而且环保的替代品，但是由于秸秆在收储、运输、预处理、底盘细胞性能和分离纯化过程的难度，许多企业家都望而却步。随着凯赛在各项工艺技术上的突破，秸秆制乳酸项目也成为了凯赛生物的工作重点之一。凯赛生物在山西太原的产业园区规划了秸秆制乳酸的项目。项目秸秆的预处理、发酵工艺在小试方案已经成型，2021 年在山东做中试，山西同步建设的 1 万吨示范线预计 2021 年年底投产。凯赛生物发展秸秆制乳酸的目的不仅仅是为了生产乳酸，更是为了打通以秸秆为原料的生物制造路线，实现对生物制造原料的替代，减少对玉米等原料的依赖。

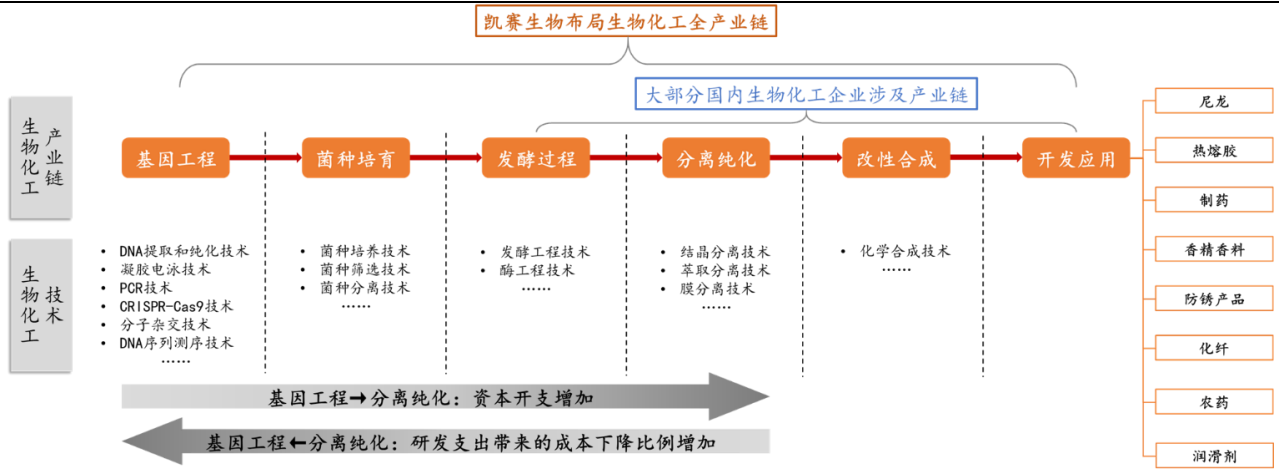
图表 31 凯赛生物秸秆原料替代方案



资料来源：国际生物基产业论坛，华安证券研究所

凯赛是国内唯一布局生物化工领域从基因工程——菌种培养——生物发酵——分离纯化——化学合成——应用开发的全产业链上市公司。国内大部分生物化工企业都采取了外购菌种生产产品的发展模式，缺失了产业链上游，即基因工程和菌种培养的环节。而公司则实现了从上游到应用的全产业链布局，所带来的竞争优势包括以下两点：1) 可以实现产业链整体的技术改进和调整，以最合适的方式降低生产成本，提高产品质量。生物化工产品产业化的过程中，最难解决的问题是高效实现分离纯化，得到合格产品。外购菌种进行生产的企业在分离纯化步骤上一般都需要投入大量的成本，才能得到满足客户需求的产品。而公司通过全产业链布局，可以提供在基因工程或者菌种培育过程中的有利于分离纯化的解决方案，改变发酵后产品的组成，减少特定难以分离的杂质。通过这样的方式，不仅仅减少了分离纯化过程的研究支出，还可以从根源上降低分离纯化的成本。全产业链一体化有助于整个生产流程成本的降低。2) 可以实现多学科、多技术的交流融合，有利于产品的开发应用。生物化工产品的性质一般与传统化工产品有所差异，如果仅仅考虑对现有应用领域的替代，一些产品的成本优势不明显，开发新的应用领域和场景尤为关键。公司多学科融合的特点将带来更多可能性，比如长链二元酸用于制药、戊二胺用于农药等。

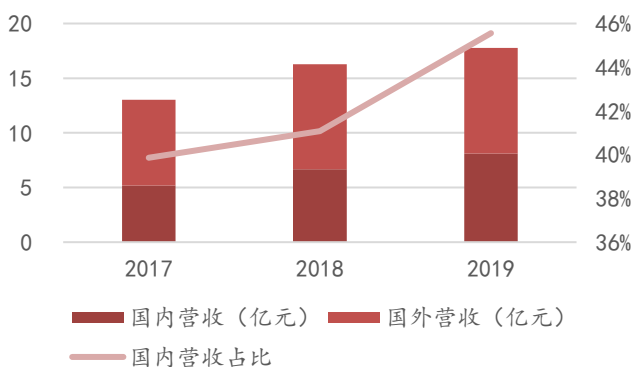
图表 32 生物化工全产业链流程图



资料来源：华安证券研究所整理

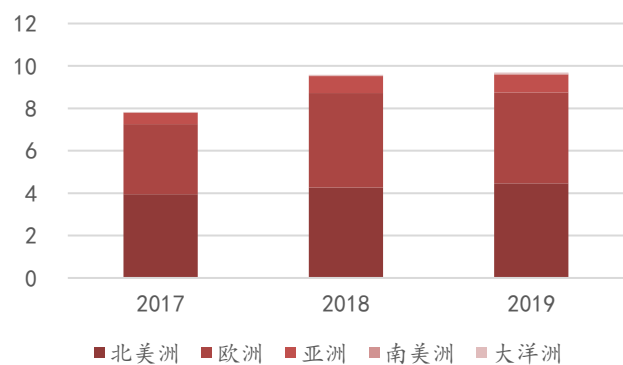
公司客户质量高、集中度低，产品远销美洲、欧洲、亚洲及中东等地区。公司生物法长链二元酸产品获得了国际知名企业的认可，主要客户包括杜邦、艾曼斯、赢创、诺和诺德等全球著名化工、医药企业。2017 到 2019 年，公司前五大客户集中度均小于 50%，并逐年下降，到 2019 年仅为 45%，体现了公司销售渠道风险相对较低。而随着生物法长链二元酸在国内应用领域的拓展和公司对于下游市场的着力培育，国内客户高端应用市场在国际市场的占有率不断提升，公司境内收入占比逐年增加。境内市场的开拓有利于公司更充分的利用国内和国际两个市场，更好的分散单一市场风险，保障公司业绩平稳增长。

图表 33 公司国内营收占比变化



资料来源：wind，华安证券研究所

图表 34 公司海外收入地区分布变化

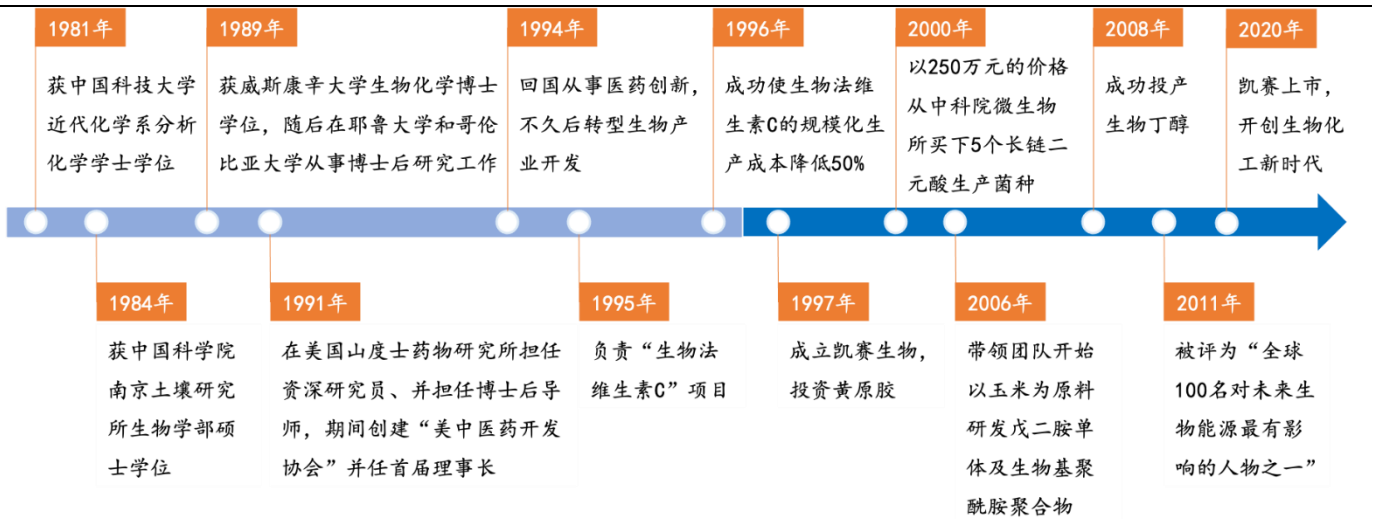


资料来源：wind，华安证券研究所

公司以研发创新为导向，生物制造工业化专利布局广泛。刘修才先生是公司董事长和实际控制人，长年躬耕于生物化工产业开发领域，曾领导开发多项生物化工先进技术产品。刘修才先生回国后首先从事医药创新工作，之后借生物法维生素 C 项目，转而开始生物制造生涯。在不到两年的时间里，他将生物法维生素 C 的规模化生产成本从 6 美元降到不到 3 美元每公斤。随后，全球的维生素 C 产业迅速集中到中国并一直持续至今。2000 年，刘修才先生以 250 万元从中科院微生物所买下了 5 个长链二元酸生产菌种，开始了生物法长链二元酸产业化道路。2006 年，刘修才先生带领下的研发团队开

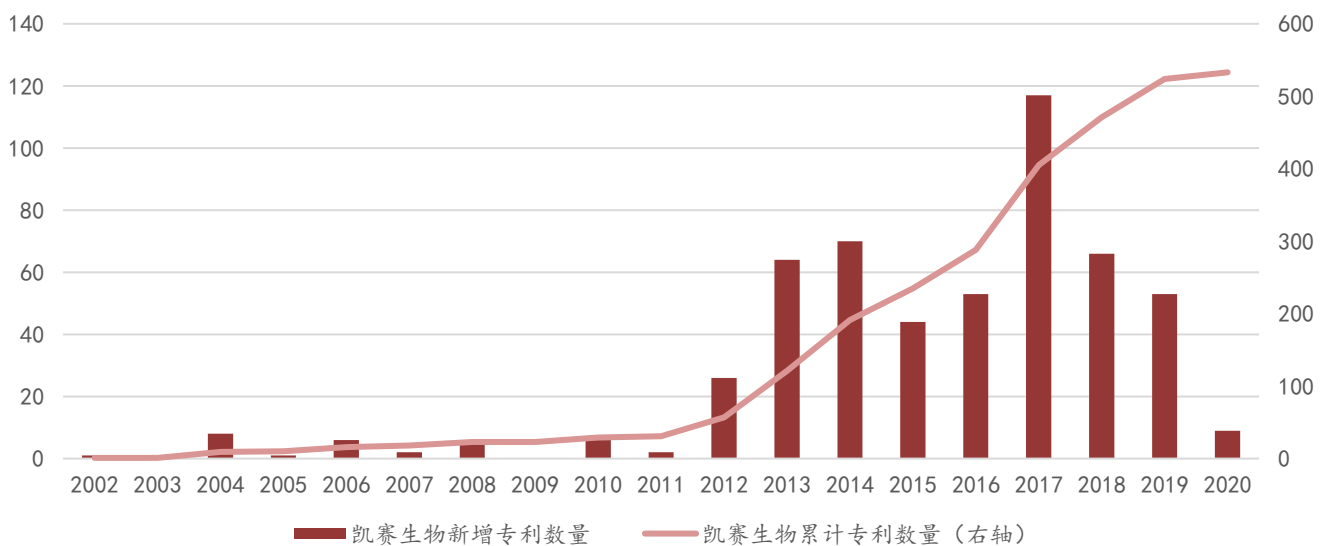
始生物法戊二胺的研究，最终在戊二胺单体及生物基尼龙产品上取得了重大突破。专利数量方面，2013-2019年公司专利布局动作频繁，年新增专利数均在40项以上。专利分布上，公司专利中涉及基因工程、菌种培育、发酵过程、分离纯化、改性合成、开发应用方面的专利数量分别为28、14、64、99、164、59项。其中，刘修才先生个人贡献了公司73%的专利，在生物化工的应用开发和产业化起到关键作用。

图表 35 凯赛生物董事长履历



资料来源：凯赛生物网站，华安证券研究所

图表 36 凯赛生物专利数量变化

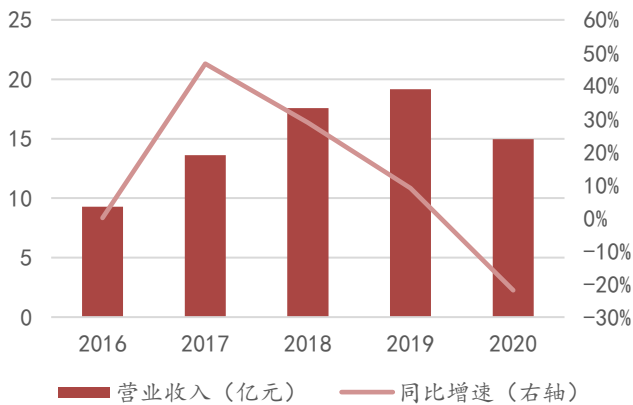


资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

全球疫情前公司业绩保持高速增长，已实现稳定盈利。在2020年全球疫情大爆发前，公司在专利布局的高峰期内也迎来了业绩的高速增长。2016-2019年，公司营业收入分别为9.29亿元、13.63亿元、17.57亿元和19.16亿元，增幅共计达206.24%。2017年全年公司归母净利润3.33亿元，同比增长129.66%。2020年主要受疫情影响，

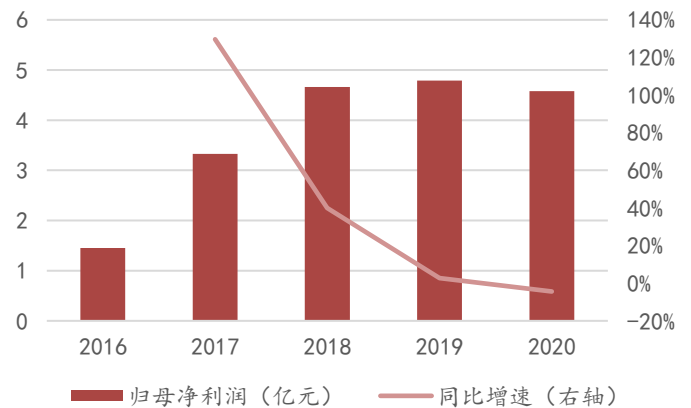
公司海外下游客户开工率水平较低，2020 年全年，公司实现营业收入 14.97 亿元，同比减少 21.87%。2020 年全年，公司归母净利润 4.58 亿元，同比下降 4.43%。司业绩稳定增长的主要原因有两点：(1) 产品销量增长。从供给端来看，随着公司生产工艺不断优化，公司经营对象产能产量不断增加，产能扩建为销量增长创造了条件；从需求端来看，公司现有主营产品长链二元酸系列在全球市场占据主导地位，随着下游应用开发的不断拓展，产品需求不断提升，从而带动销量增长。(2) 产品定价能力强。长链二元酸的主要原材料为烷烃，烷烃受石油价格和市场供需变化影响，从而会对产品成本产生一定影响，但随着从事化学法生产的主要竞争对手退出市场及环保监管要求日益提高，公司在该产品的市场地位和议价能力进一步得到巩固，上游原材料成本的价格波动可以部分传导至产品售价，从而避免了因成本上升带来的毛利下降。

图表 37 凯赛生物营收及增速



资料来源: wind, 华安证券研究所

图表 38 凯赛生物归母净利润及增速



资料来源: wind, 华安证券研究所

2.1.2 华恒生物：生物法丙氨酸龙头

华恒生物是一家专业以丙氨酸系列产品为主的氨基酸等生物基产品的研发、生产与销售的国家火炬重点高新技术企业。公司设立于 2005 年，总部位于安徽合肥。2011 年，公司在厌氧发酵生产 L-丙氨酸核心技术上取得突破，并于 2013 年 11 月完成股份制改造，更名为安徽华恒生物科技股份有限公司。2018 年，公司结束了在全国股转系统为期 4 年的挂牌，并于同年以丙烯酸为原料酶法投产 β-丙氨酸。2019 年，公司实现 D-泛酸钙的投产和销售。2021 年 3 月，公司获得科创板上市注册批文，后于科创板上市。公司成立以来成功承担了十二五科技部“863”项目、国家发改委生物产业示范专项、科技部企业技术创新基金等国家重点科技攻关项目和高新技术产业化项目。

图表 39 华恒生物公司发展历程



资料来源：华恒生物招股说明书，华安证券研究所

图表 40 华恒生物融资历程

时间	事件
2015年4月	从毅达资本、芳晟股权投资基金、中兴创投募集了5000万人民币的A轮融资。
2021年4月	上市发行新股筹集了2700万人民币。

资料来源：全球企业库，华安证券研究所

图表 41 华恒生物核心人员简介

人员	职务	简历
郭恒华	董事长	<ul style="list-style-type: none"> 长江商学院 EMBA 2005年4月至2013年11月任华恒有限董事长兼总经理；2011年1月至今任秦皇岛华恒执行董事兼经理；2013年11月至今任公司董事长兼总经理；2015年12月至今任合肥华恒执行董事 1998年1月至2003年7月任安徽氯碱化工集团有限公司常务副总经理 安徽省第十一届、十二届人大代表，中共合肥市第八届党代会代表，中国女企业家协会常务理事，长江商学院安徽校友会副会长，曾任合肥市妇联副主席，合肥市女企业家协会会长，安徽省女企业家协会副会长
张学礼	首席科学家	<ul style="list-style-type: none"> 上海交通大学生物化学与分子生物学专业，博士学位 负责对研发体系建设提供技术支持和专业指导，先后为多个项目提供前沿理论支撑，指导技术研究方向，并提示研发风险，保障公司研发项目的顺利实施 入选国家自然科学基金优秀青年基金、科技部创新人才推进计划“中青年科技创新领军人才”、中国科学院“百人计划” 成功构建了生产L-丙氨酸、丁二酸、D-乳酸、β-榄香烯、番茄红素、人参皂苷等化学品的高效微生物细胞工厂，在产学研融合方面，实现11项化学品的技术转让，3项化学品的产业化应用，在国内帮助相关企业首次实现丁二酸和D-乳酸发酵法的产业化；华恒生物以其构建的发酵法生产L-丙氨酸的初代菌株为基础，结合生产实践经验，在国际上首次实现L-丙氨酸厌氧发酵法的产业化 署名26项中国专利和28项国际专利的发明人；发表SCI论文60余篇
刘洋	监事、秦皇岛华恒执行总经理	<ul style="list-style-type: none"> 合肥学院生物工程专业，本科学历 主持或参与了“氨基化酶法β-丙氨酸连续转化工艺开发”、“L-丙氨酸发酵母液资源化利用”、“生物氨基化酶法β-丙氨酸的发酵中试工艺开发”等多个公司研发项目 参与的“生物基L-丙氨酸制造的关键技术及产业化应用”项目曾于2014年11月获中

		国石油和化学工业联合会颁发的科技进步二等奖；参与的进化工程育种技术提高发酵法L-丙氨酸生产菌的发酵性能项目，取得2018年度河北省科学技术进步三等奖 ➤ 署名发明人的授权专利共13项
刘树蓬	首席技术官	➤ 浙江大学微生物学专业，硕士学位 ➤ 主要负责开展项目管理、实验设计等研发和管理工作，先后主持或参与了“D-泛解酸内酯无溶剂分离技术开发”、“高品质α-熊果苷技术开发”、“生物酶法生产L-丙氨酸的高密度发酵工艺”、“L-缬氨酸发酵法技术开发”等多个公司研发项目 ➤ 20余项在申请专利署名发明人

资料来源：华恒生物招股说明书，华安证券研究所

华恒生物主要产品包括丙氨酸系列产品、D-泛酸钙和α-熊果苷，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。丙氨酸是构成蛋白质的基本单位，是组成人体蛋白质的21种氨基酸之一。丙氨酸分为α-丙氨酸和β-丙氨酸。α-丙氨酸存在L型、D型两种立体镜像，即L-丙氨酸、D-丙氨酸。DL-丙氨酸为α-丙氨酸的外消旋体，其中L型、D型的混合比例为1:1。公司生产的丙氨酸系列产品包括L-丙氨酸、DL-丙氨酸、β-丙氨酸。

(1) L-丙氨酸是公司现阶段的主导产品，公司目前拥有2.3万吨/年产能及超50%的全球市场份额，奠定了公司在生物法丙氨酸的龙头地位。公司的L-丙氨酸主要应用于日化领域，主要客户为巴斯夫、诺力昂等大型国际化工企业。巴斯夫采购公司产品后，全部用于合成新型绿色螯合剂MGDA，目前MGDA主要作为助洗剂添加于自动洗碗机专业洗涤剂中，应用于高端洗涤领域。与此同时，公司主要客户诺力昂采购公司产品后也应用于生产新型绿色螯合剂MGDA。

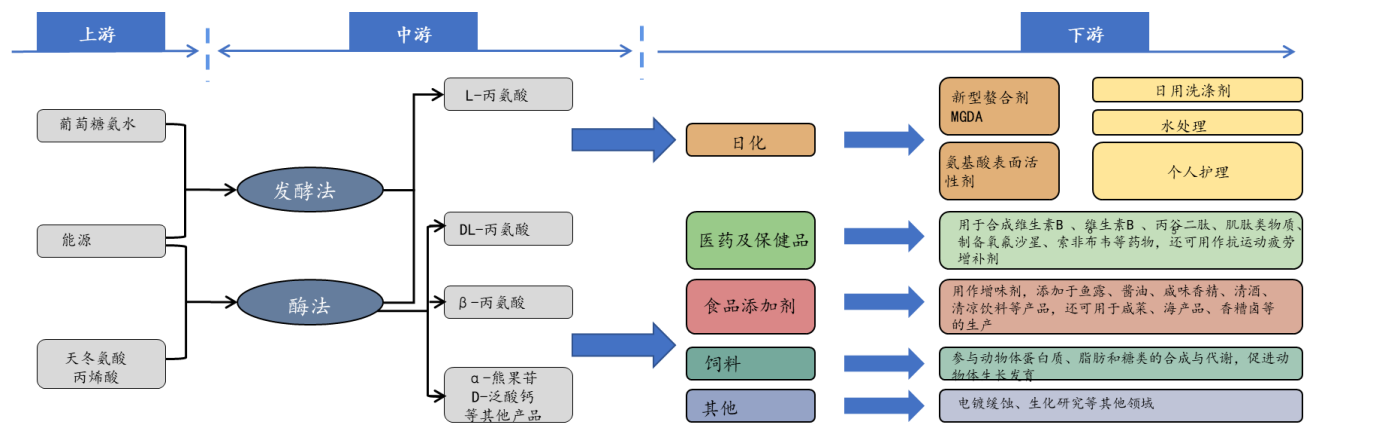
(2) DL-丙氨酸具有一定的甜味，可用作缓冲酸碱、防止褐变，被日、韩等国家用作食品添加剂。同时，DL-丙氨酸也可应用于日化领域，用于生产MGDA。公司DL-丙氨酸产品以L-丙氨酸为原料，采用拥有自主知识产权的酶法工艺，催化L-丙氨酸消旋一步反应得到。公司采用自产的L-丙氨酸制备DL-丙氨酸，具有成本优势，形成协同效应。

(3) β-丙氨酸是自然界中唯一存在的β型氨基酸，具备特殊的生物活性。在医药及保健品领域，β-丙氨酸是合成维生素B5的重要原材料之一，还可参与维生素泛酸和辅酶A的组成，作为抗运动性疲劳补剂。2016年，公司成功实现了以L-天冬氨酸为原料酶法脱羧生产β-丙氨酸技术的产业化。经过两年多的持续研发，公司于2018年底创造性地构建了以廉价易得的丙烯酸为原料，利用人工合成酶催化生产β-丙氨酸，替代原有β-丙氨酸的生产工艺，实现了生物制造技术工艺的升级和迭代。该技术通过酶的催化作用，对丙烯酸定向加氨形成β-丙氨酸，较L-天冬氨酸脱羧技术而言，提高了原子经济性，有效降低了产品成本。

(4) D-泛酸钙亦称维生素B5，是人体和动物体内辅酶A的组成部分，参与碳水化合物、脂肪和蛋白质的代谢作用，有利于各种营养成分的吸收和利用，是人体和动物维持正常生理机能不可缺少的微量物质，被广泛应用于饲料添加剂、医药、日化、食品添加剂等众多领域。D-泛酸钙的主要原材料为D-泛解酸内酯和β-丙氨酸。2017年，公司开始对D-泛酸钙生产技术进行研发，经过小试及中试生产，初步打通了发酵制酶、催化转化、分离提取的整套工艺流程，实现了公斤级合格产品的试制。2018年，D-泛酸钙项目进入产业化放大阶段，公司建设了年产300吨的D-泛酸钙生产线。2019年，在公司优化了酶法β-丙氨酸的工艺后，D-泛酸钙正式投产并实现销售。公司采用酶法生产的β-丙氨酸制备D-泛酸钙，形成了自有业务的上下游产业链优势，生产成本更低。D-泛酸钙是基于公司在现有核心产品丙氨酸的技术与成本优势基础上，适时开发出的衍生物新产品，定位于核心产品丙氨酸的协同产品。

(5) 熊果苷，又名熊果素、熊果叶苷、熊果酚苷。熊果苷具有抗炎、抗氧化、平喘等多种药理活性，还是人黑色素细胞中酪氨酸酶的抑制剂，能够阻断黑色素的形成，加速黑色素的分解与排泄，从而减少皮肤色素沉积。熊果苷分为α型和β型两类，其中α-熊果苷的美白效果是β-熊果苷的7-10倍，国内外客户正逐步将其添加在美白化妆品中。公司α-熊果苷的酶法生产工艺，以对苯二酚为原料，采用高活性的糖基转移酶，结合特异分离去除氢醌的提取工艺，可使产品中的氢醌残留低至1ppm以下，有效解决了传统工艺普遍存在的酶活低、提取精制成本高、产品杂质含量高等问题，可满足美白化妆品高端用户的需求。

图表 42 华恒生物产品产业链



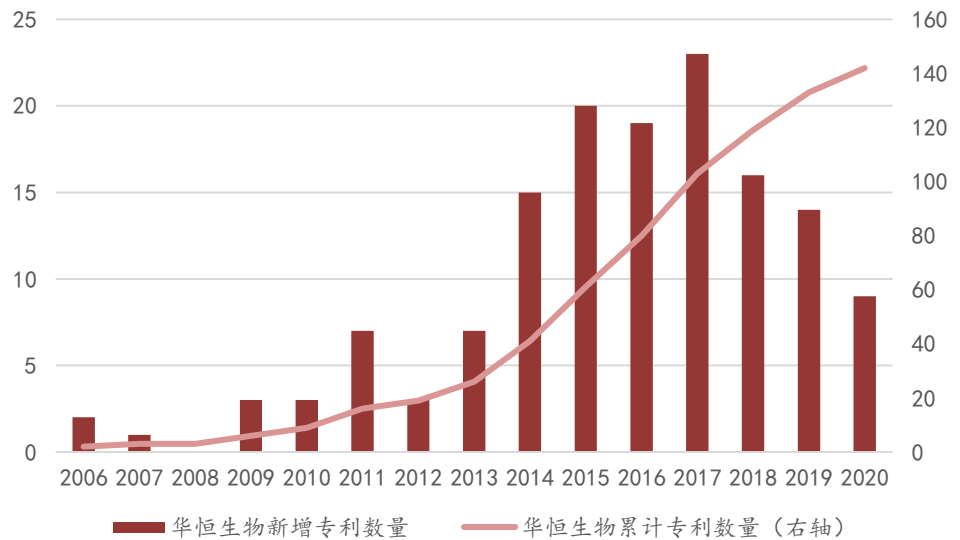
资料来源：华恒生物招股说明书，华安证券研究所

华恒生物具备领先的全产业链的技术。公司坚持“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，以合成生物学、代谢工程、发酵工程等学科为基础，建立了“工业菌种—发酵与提取—产品应用”的技术研发链，在工业菌种创制、发酵过程智能控制、高效后提取、产品应用开发环节形成了完备的技术领先优势，开发和应用了以微生物细胞工厂为核心的发酵法生产工艺和以酶催化为核心的酶法生产工艺，替代了传统化学合成工艺的重污染生产方式，实现了利用生物技术生产精细化合物的技术变革，并持续推进生物制造技术工艺的升级和迭代。其中，微生物发酵法工艺利用可再生的葡萄糖直接发酵生产，生产成本更低，生产过程更为安全、绿色、环保，代表了更为先进的生物制造方法。

华恒生物厌氧发酵工业化生产技术国际领先。公司的L-丙氨酸主要通过发酵法工艺生产，通过持续的研究开发和技术创新，公司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，大幅降低能源消耗及产品成本，有效拓展了下游应用领域，促进了产品的规模化应用，同时实现发酵过程二氧化碳零排放，技术达到国际领先水平。公司的DL-丙氨酸、β-丙氨酸、D-泛酸钙和α-熊果苷通过酶法工艺生产，公司成功构建能够在温和条件下高效催化特定反应的生物酶，避免了传统化学合成法使用高污染、腐蚀性的有机溶剂带来的环境污染问题，并有效缓解了化学溶剂残留问题，进一步提升了产品质量，并使得生产过程更加安全、节能、环保。

公司核心技术专利布局比较完善，累积已公开专利达到142项，涉及公司主要产品领域。

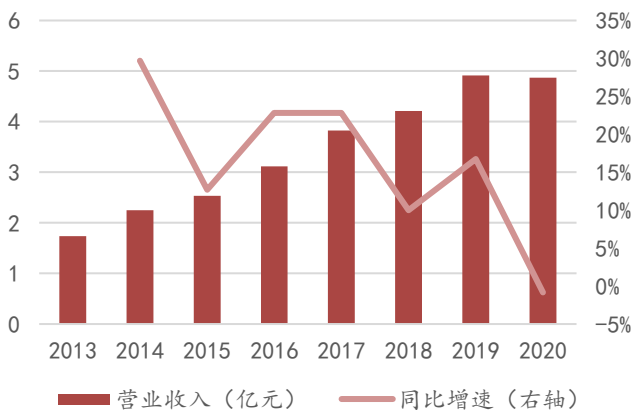
图表 43 华恒生物专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

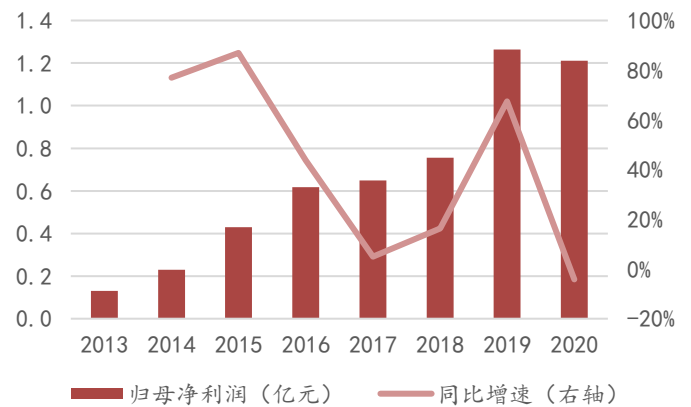
海外疫情缓解，公司业绩保持稳定盈利状态，周期性不明显。2017-2019 年，公司业绩迎来迅速增长，营业收入及净利润逐年上升。2017 年全年，公司实现营业收入 3.83 亿元，同比增速达 22.83%，为近 5 年来营收增速最高水平。2017 年全年，公司归母净利润 0.65 亿元，同比增速 5.02%。2019 年，公司归母净利润 1.26 亿元，增速达 67.42%。2020 年，公司营收及归母净利润有所下滑，营业收入为 4.87 亿元，同比下降 0.83%；归母净利润 1.211 亿元，同比下降 4.19%，主要因为 D-泛酸钙价格下降和海外疫情导致下游需求减弱。

图表 44 华恒生物营收及增速



资料来源：wind，华安证券研究所

图表 45 华恒生物归母净利润及增速



资料来源：wind，华安证券研究所

2.1.3 蓝晶微生物：领先的生物法功能分子和新材料制造商

蓝晶微生物是一家专注于将合成生物技术应用于分子和材料创新方向的生物技术公司。公司总部位于北京市昌平区，自 2016 年 10 月成立以来，经历 4 轮 7 次融资，其中最新一轮的融资为高瓴创投、中关村发展前沿基金主导的 B 轮融资，融资金额 2 亿元人民币，创下国内合成生物学领域初创企业单笔融资金额的新纪录。公司主营方向为设

计、开发、制造和销售新型生物分子和材料，包括在所有自然环境中均可自发完全降解的生物材料 PHA、可有效缓解焦虑的功能饮料成分和补偿人体常见代谢缺陷的新型功能益生菌等，可用于消费品、医疗保障、农业环保及电子电气等诸多行业，目前公司已经成长为国内领先的功能分子和新材料生物制造公司。

图表 46 蓝晶微生物核心人员简介

人员	职务	简历
李腾	联合创始人、总裁	<ul style="list-style-type: none"> 本科（生物学）和博士（合成生物学）毕业于清华大学 《麻省理工技术评论》年度中国科技青年榜入选者，《财富》2019 年中国 40 位 40 岁以下商界精英入选者
张浩千	联合创始人、首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 本科（生物学）和博士（物理学）毕业于北京大学 前后在国际学术期刊发表研究论文 20 余篇，中国生物工程学会合成生物学专业委员会委员，《合成生物学》编委，《FastCompany》2019 年中国商业最具创意人物 00 榜单入选者

资料来源：蓝晶微生物官网，华安证券研究所

图表 47 蓝晶微生物融资历程

时间	事件
2016 年 12 月	从清华 X-lab 募集了 200 万人民币的种子轮融资。
2017 年 2 月	从峰瑞资本筹集了 500 万人民币的天使轮融资。
2018 年 5 月	从峰瑞资本筹集了 1000 万人民币的 Pre-A 轮融资
2020 年 5 月	从松禾资本筹集了 5000 万人民币的 A+轮融资。
2021 年 2 月	从高瓴创投、中关村发展前沿基金等募集了 2 亿元人民币的 B 轮融资

资料来源：全球企业库，华安证券研究所

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须的全部环节。公司将合成生物学、生物信息学、发酵工程与自动化技术和计算机技术相结合，基于基因元件数据库和代谢网络模型，借助高通量、可拓展的自动化硬件，设计了独特的实验流程，能减少人为错误并提升研发速度，从而使微生物菌株的开发变得灵活和高效。蓝晶微生物也是国际上除了 Gingko Bioworks 和 Zymergen 之外的少数几家开发出了自动化软硬件系统的公司。此外，据公司估算，现有研发平台和后续生产设施的 70%-80%可在不同产品管线中复用，这将呈数量级地压缩后续产品管线的研发成本和产业化落地周期。

蓝晶微生物将会成为中国第一家，也是全球第三家把 PHA 成本降低到足以商业化的公司。PHA 是一种新型的可完全生物降解的热塑性材料，可以应用于包装材料、医用植入材料和食品工业化。PHA 材料虽然有着良好性能，也是可降解材料领域的发展趋势，但生产过程中超高的能耗和生产成本仍然是制约产业化的瓶颈。PHA 材料只能由微生物合成，因此微生物底盘的选取和基因通路的设计将直接影响到 PHA 材料的性能和成本。蓝晶微生物所选取的微生物底盘并不是实验室中的模式生物，而是在油田土壤中发现的一种耐油细菌，在利用合成生物技术对该细菌进行工程化改造后，可以稳定合成产出高性能的 PHA 材料。由于该细菌本身生存在较为恶劣的环境，因此其对生长环境和“食物”的要求并不高，使 PHA 的生产成本大幅度降低。目前，蓝晶微生物已经与中化国际签署战略合作协议，共同推动 PHA 材料的规模化生产及市场化销售。公司 B 轮融资的 2 亿元主要是用来建设年产万吨级 PHA 的工厂，预计 2022 年下半年 PHA 产品正式上市。

为了提升微生物定制开发的效率，蓝晶微生物针对合成生物学的设计、建造、测试三个步骤自主研发了国内首个生物研发自动化系统 Holog。该软件整合了既有开源的

和蓝晶微生物自有的基因元件库数据和微生物底盘数据，以实现研发的全流程数据化和自动化。蓝晶微生物计划在未来进一步开放 Holog 系统，将其作为技术平台支持更多针对不同领域垂直场景的合成生物技术初创企业进行定制化开发，充分利用中国在合成生物技术领域具备的高端人才红利。

蓝晶微生物还成立了科研教育平台“蓝晶实验室”，来自北大、清华、中科院的优秀毕业生构成的核心团队，可以面向中学生提供合成生物学的课程内容，并协助学生完成科学项目实验，成为蓝晶微生物的稳定现金流业务。

蓝晶微生物研发实力强。公司的创始人张浩千博士曾在国际基因工程机器大赛获得总决赛冠军，且担任中国生物工程学会合成生物学专业委员会委员、《合成生物学》杂质编委等职务。创始人李腾博士在国际基因工程机器大赛获得金牌，且获得《麻省理工技术评论》2019 年度中国生命科学领域 10 大年度人物荣誉。两人均在该领域深耕多年，科研经验和项目经验丰富。目前，公司拥有专利 6 项，与基因工程相关的软件著作权 3 项，分别为生物系统建模仿真软件、基因调控线路设计软件、DNA 信息编辑系统。

图表 48 蓝晶微生物专利数量变化

申请号	发明名称	申请日	公开(公告)日
CN201710413338.3	一种启动子库以及利用其在细菌中构建不同强度表达系统的方法	20170605	20181211
CN201710486320.6	一种精细调控共聚物中 4-羟基丁酸组成比例的基因盒及其应用	20170623	20190101
CN201710832790.3	一种无灭菌发酵生产聚羟基脂肪酸酯的方法	20170915	20190322
CN201710840777.2	一种制备聚羟基脂肪酸酯(PHA)的方法	20170915	20190322
CN201711445256.3	一种在盐单胞菌中快速基因编辑的载体组合及其应用	20171227	20190705
CN201810074387.3	一种重组盐单胞菌以及利用其生产 P(3HB-co-4HB)的方法	20180125	20190802

资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.1.4 Ginkgo Bioworks: 全球微生物生产龙头

Ginkgo Bioworks 是一家专注于利用基因工程设计、生产工业用途微生物的公司，以为客户提供微生物的研发服务为主要经营模式。公司总部位于美国马萨诸塞州，由麻省理工的生物学家和计算机科学家 Tom Knight、哈佛遗传学家 George Church、生物技术专家 Craig Venter 以及四位麻省理工生物工程研究生于 2009 年共同创立，2021 年 5 月通过 SPAC（特殊目的收购公司）登录纽交所上市。公司自成立以来经历了 5 轮融资，最新一轮融资发生在 2017 年 12 月，募集了 2.75 亿美元用于 BioworksS3 的建造。

图表 49 Ginkgo Bioworks 核心人员简介

人员	职务	简历
Jason Kelly	首席执行官、创始人	<ul style="list-style-type: none"> 于 2008 年博士毕业于美国麻省理工学院的生物工程系，2008 年至今一直担任公司的首席执行官 在麻省理工学院攻读研究生的同时创立了 OpenWetWare.org
Reshma Shetty	总裁、首席运营官	<ul style="list-style-type: none"> 2008 年加入公司 曾担任汤姆·布伦德尔爵士在生物化学系的实验室研究助理、汤姆·奈特计算机科学与人工智能实验室的实验室担任研究助理
Mark Dmytruk	首席财务管理	<ul style="list-style-type: none"> 在 2017 年到 2020 年担任 Syneos Health 的执行副总裁，负责公司的战略和发展，该公司是一家服务于制药行业的合同研究组织和合同商业组织；曾在 inVentiv Health Commercial 和 Athena Diagnostics, Inc. 等担任高管，具有生命健康领域丰富的从业经验

资料来源：Ginkgo Bioworks 官网，华安证券研究所

图表 50 Ginkgo Bioworks 融资历程

时间	事件
2014 年 7 月	从 Y Combinator, TSVG, CRCM Ventures, 11.2 Capital, Farzad Nazem, Todd Corenson 和 David Spector 募集了 12 万美元的种子资金。
2015 年 3 月	从 iGlobe Partners, Vast Ventures, OS Fund, Felicis Ventures, Data Collective, Ian McNish 和 David Beyer 募集了 900 万美元的 A 轮融资。
2015 年 7 月	从 Viking Global Investors, OS Fund, Felicis Ventures 和 11.2 Capital 募集了 4500 万美元的 B 轮融资。
2017 年 12 月	从 Viking Global Investors, Y Combinator 的 Continuity Fund, Cascade Investment 和 Bill Gates 募集了 2.75 亿美元的 D 轮融资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

Ginkgo 的产品为其生物铸造平台，该平台建立包括两个核心资产：Ginkgo 的生物铸造厂和代码库，可根据客户规格执行各种各样的细胞编程。生物铸造厂是一个高效的生物实验室，涉及专有工作流程、定制软件、机器人自动化、数据科学和分析方面的知识。Ginkgo 的代码库(Codebase)是生物“元件”的集合和生物数据库。Ginkgo 的铸造厂在核心细胞工程工作流程(设计 DNA、编写 DNA、将 DNA 插入细胞、测试细胞性能)实现了集成和自动化，并利用数据分析和数据科学为设计提供优化方向。Ginkgo 的代码库包括物理(工程细胞和基因元件)和数字(基因序列和性能数据)生物资产，并随着 Ginkgo 在平台上执行更多的细胞程序而积累。每次程序的运行都会产生有价值的代码库，可以帮助指导未来的实验设计，提升细胞程序设计效率。

Ginkgo Bioworks 的研发平台将生物技术和计算机技术结合，随着产品扩张和数据的增加不断加深护城河。公司具备基因编辑、生物设计、菌株测试与改进等生物领域技术。此外，公司还具有先进的软件、硬件工具以及自动化技术，可以实现原型快速设计和高通量筛选，并利用研发过程产生的数据进行自我学习和迭代优化。Ginkgo 铸造厂的一个关键战略是增加业务规模，以使平台能够同时运行更多的程序和更多的原型，进而不断得以进化，提升运营效率并实现规模经济。Ginkgo 铸造厂业务规模每年增长近 3 倍，编程细胞的单位成本每年降低近 50%。

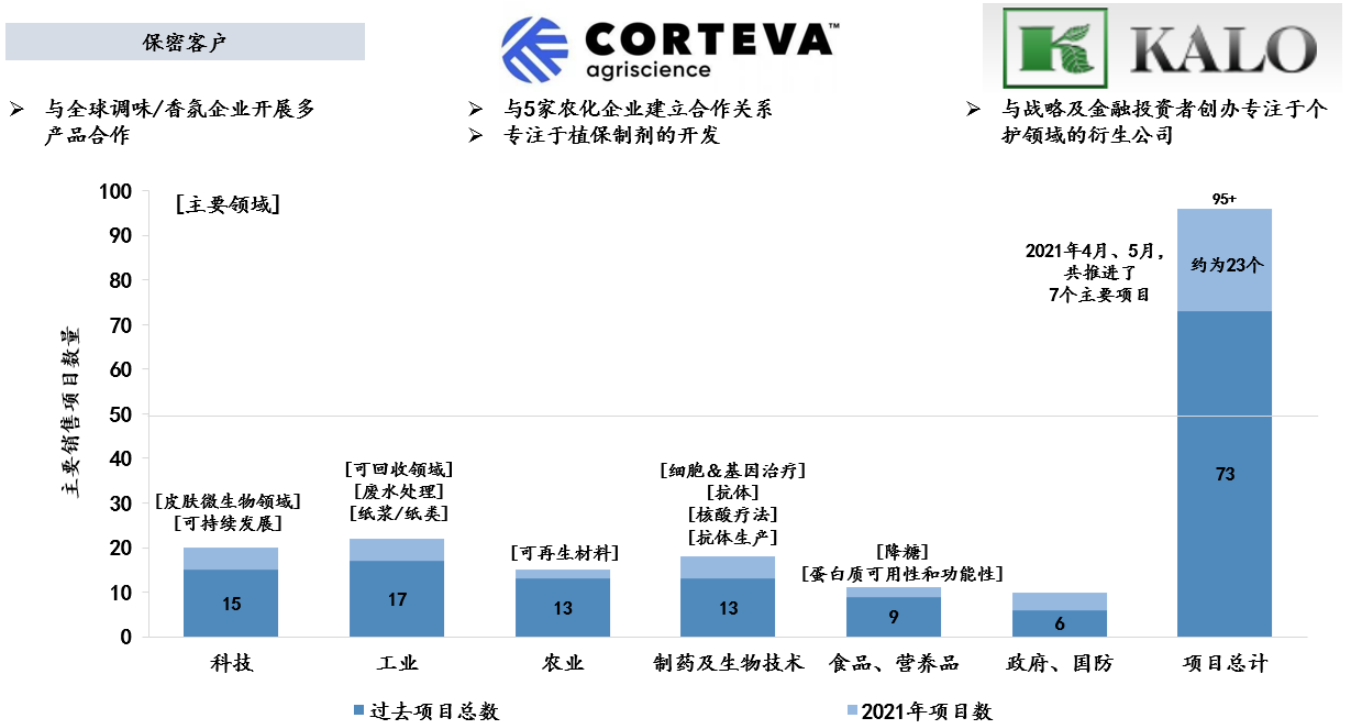
Ginkgo 的代码库是公司降本增效、提升研发成功率的一法宝。Ginkgo 的代码库是功能性生物编码(可重复使用的遗传部件和菌株)的数据库。除了通过 Ginkgo 的铸造实验产生的原始性能数据(迄今为止已经运行了超过 1000 万个应变测试)，Ginkgo 还合并了许多公共基因序列数据库，目前已拥有一个超过 4.4 亿个额外序列的专有数据集。

Ginkgo Bioworks 的“合成生物学铸造厂”不断更新迭代来提升研发水平，拓宽公司的研发服务水平。公司的 Bioworks1 是世界上第一个完全自动化的生物菌株工程生物铸造厂，该代工厂每月可以执行多达 15000 个自动化实验室任务，从而使 Ginkgo Bioworks 的遗传工程师每月可以测试数千种新生物；Bioworks2 是 Bioworks1 的升级版，是其两倍大，通过更有效的设备集成和小型化，它使原始的 Bioworks1 铸造厂的生产率提高了 6 倍；Bioworks3 于 2017 年投入运行，最初是为工程生物进行原型设计和缩放的代工厂，项目资金来自于 D 轮融资，Bioworks3 通过与拜耳的合作伙伴关系来加快现有项目的规模化并为其农产品研发提供支持；2018 年公司工程化的哺乳动物细胞开设了 Bioworks4 铸造厂，利用小鼠、仓鼠和人类细胞制造抗体和蛋白质等生物分子，该平台还为小型生物技术初创公司提供云计算服务，免除其构建自己服务器的高额费用。

Ginkgo Bioworks 研发产品众多且具有很强的成长性。截止 2020 年底，基于公司平台研发的产品已经有 73 项，涉及的领域包括消费者与技术、工业与环境、食物与农业、制药和生物技术等多个领域，此外公司的产品梯队还在不断的快速扩张，2021 年

年初至今，新研发的产品高达 23 项，公司预测在 2025 年，研发产品数量将高达 500 多项。

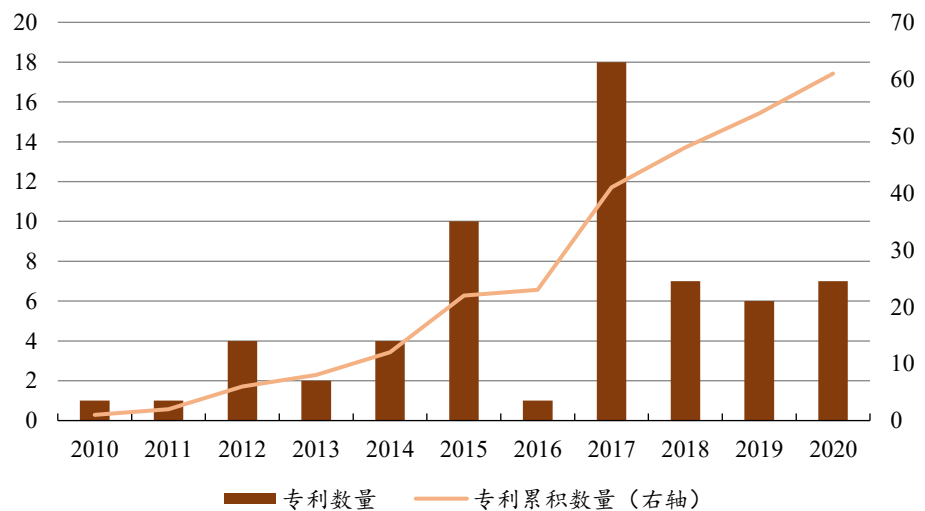
图表 51 Ginkgo 产品梯队不断壮大，与多名新客户取得良好进展



资料来源：Ginkgo Bioworks 投资者平台，华安证券研究所

公司拥有专利 60 余项，公司核心管理团队具有丰富的生物工程领域的经验。公司专利涉及生物化学、有机化学、医学等领域。其中公司的创始人 Reshma Shetty 贡献了 12 项。

图表 52 Ginkgo 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

Ginkgo Bioworks 目前仍处于亏损状态，但产品快速扩张使得公司一直处于高增长

状态。公司 2020 年营收 7670 万美元，同比增长 41%，净亏损 1.27 亿美元。尽管公司还未实现盈利，但是公司营收一直保持高增长状态，公司估计在 2025 年营收将达到 10.99 亿美元，EBITDA 首次由负转正为 1.66 亿美元。

2.1.5 Zymergen: 合成生物学平台型研发公司

Zymergen 成立于 2013 年，由 Josh、Zach Serber 和 Jed Dean 共同创立，总部位于加利福尼亚州埃默里维尔，是合成生物学领域的上市公司。公司利用合成生物学、机器学习、自动化等理论与技术研发创新产品与创新材料，并最终实现商业化。公司构建了独特的集生物、化学和制造为一体的生物制造平台，旨在生产传统化学法生产困难或无法生产的高性能生物制造产品。2014 年 1 月，公司进行了种子轮融资，融得 200 万美元，随后的几年内，公司又分别进行了 A 至 D 轮的融资。2021 年 4 月 22 日，公司正式在纳斯达克上市，以每股 31 美元的价格发售新股。对于合成生物学领域而言，美国生物合成独角兽 Zymergen 公司的上市是一个重要的里程碑。

图表 53 Zymergen 公司发展历程



资料来源：Zymergen 公司官网，华安证券研究所

图表 54 Zymergen 核心人员简介

人员	职务	简历
Josh	首席执行官、联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 2013 年，Josh 和 Zach Serber、Jed Dean 创立了 Zymergen Josh 曾担任 Norcob Capital 的合伙人、罗斯柴尔德的商业银行董事总经理、麦肯锡副董事长等职务，具有丰富的投融资经验和工业领域的咨询经验
Jed Dean	运营与工程副总裁	<ul style="list-style-type: none"> Jed 在 Amyris 和斯坦福基因组技术中心开发了生命科学技术和自动化技术平台，在微生物工程自动化领域拥有众多专利 在加入公司之前，曾在 Amyris 和斯坦福基因组技术中心担任重要的科研角色
Zach Serber	首席科学家、联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 曾担任 Amyris 的生物学总监、斯坦福大学医学院的研究员等职务 拥有 17 篇重要期刊文章和涉及生物分子发现和微生物工程的多项专利
Aaron Kimball	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> Aaron 领导公司的技术部门构建了数据驱动的软件和机器人制造系统 Aaron 曾共同创立了 WibiData，是 Cloudera 的第一位员工，在大数据和自动化领域具有丰富的经验 拥有微生物工程预测模型的多项专利。

资料来源: Zymergen 官网, 华安证券研究所

图表 55 Zymergen 融资历程

时间	事件
2014 年 1 月	从 Genoa Ventures (主要投资者), Linden Mobile Ventures, Josh Perfetto, Jesse Robbins, Jenny Rooke 和 David Beyer 筹集了 200 万美元的种子资金。
2015 年 6 月	从 Data Collective (主要投资者), AME Cloud Ventures, DFJ, Genoa Ventures, Two Sigma Ventures, True Ventures, SciFl VC, Obvious Ventures, Innovation Endeavors 和 Jenny Rooke 筹集了 4200 万美元的 A 轮融资。
2016 年 10 月	从软银 (主要投资者), Two Sigma, Tao Capital Partners, Prelude Ventures, Obvious Ventures, Innovation Endeavors, ICONIQ Capital, Data Collective, DFJ 和 AME 筹集了 1.3 亿美元的 B 轮融资。
2014 年 12 月	从 DCVC Bio, DFJ, Goldman Sachs, Hanwha Asset Management, Innovation Endeavors, SoftBank Group, True 和 Two Sigma Ventures 筹集了 4 亿美元的 C 轮融资。
2018 年 12 月	从 Baillie Gifford, Baron Capital Group 和 Perceptive Advisors 筹集了 3 亿美元的 D 轮融资。

资料来源: 美国证券交易委员会, 华安证券研究所

Zymergen 已实现聚酰亚胺薄膜 (PI 膜) 产业化, 其他产品尚在开发中。公司产品主要涉及三个领域, 分别是电子领域、消费者护理领域和农业领域, 同时公司也在寻求具有潜力的新市场。2012 年 12 月, 公司与其战略伙伴住友化学合作设计并推出了首款产品 “Hyaline”, 这是一种可用于电子器件设备的新型生物聚酰亚胺薄膜。Hyaline 可以广泛应用于可折叠封面窗户、过滤器和触摸传感器面板。同时, 公司正在研发一种通过微生物发酵生产的透明质分子, 目前正在开发该产品的规模化生产工艺, 预计这一进程将于 2022 年完成。Hyaline 取得成功之后, 其他的产品都可以利用既有的创新体系以及商业闭环能力, 复制其研发路径, 使公司的生物制造平台成为创新和创收的引擎。公司还有 10 种其他产品正在开发中, 分别为 3 种电子产品、4 种消费者护理产品、3 种农业产品。ZYM0107 计划在 2022 年推出, 是公司在薄层专利权领域的下一个高光学性能薄膜产品。ZYM0101 计划于 2023 年推出, 是一种高性能的柔性电子薄膜, 用于可折叠和可滚动的电子设备的天线绝缘层和透明显示器涂层。消费者护理产品包括一种天然衍生的驱虫剂 ZYM0201。根据前几种产品的研发经验并考虑到研发和政策监管风险, 公司预估推出新产品的时间约为 5 年, 成本约 5000 万美元。

图表 56 Zymergen 公司产品产业化进度

	产品	描述	设计产品	创造微生物	规模化生产	发布
电子学	Hyaline	高光学质量薄膜（如可折叠装置）				现在
	ZYM0107	耐高温光学薄膜（如可折叠装置）				2022
	ZYM0101	高模量光学薄膜（如可折叠装置）				2023
	ZYM0103	生物基环氧树脂				
消费者护理	ZYM0201	天然来源昆虫防护				2023
	ZYM0205	天然来源可持续紫外线防护				
	ZYM0206	生物基可生物降解成膜剂				
	ZYM0207	未公开				
农业	ZYM0301	固氮合作伙伴				
	ZYM0302	发现合作伙伴				
	ZYM0303	新型生物基除草剂				
新市场	3+	超过3个与新上下游行业合作伙伴合作的项目正在进行中				

资料来源：Zymergen 招股说明书，华安证券研究所

Zymergen 的生物制造平台是推动产品创新的引擎。Zymergen 是合成生物学领域的平台型研发公司，既拥有底层研发技术，又将业务扩展到了制造和应用领域。公司的生物制造平台融合了生物学、化学、机器学习和实验室自动化的知识，整合了独有的数据库和机器学习算法，是公司研发、设计、制造和推广创新材料的重要工具。公司的生物制造平台拥有三个功能：（1）设计产品，即设计一种成本较低的、具有特定性能的材料；（2）创造微生物，创造一种能制造生物分子的微生物，并确定其进行生物制造的最佳生命周期；（3）规模化生产（CMO 模式），这是流程中最重要的一步，包括微生物优化、发酵、下游工艺以及最终的大规模生产。公司产品主要是采用合约生产模式，由其他合作公司完成规模化生产工作。

公司研发平台可以广泛应用于不同的产品和不同研发阶段，实现全产业链布局。公司生物平台的应用程序包括统一宏基因组数据库（UMDB）、可重构的自动化载体（RAC）、自动化控制软件（ACS）以及实验室信息管理系统（LIMS），这些应用程序具有普适性。生物制造平台实现了从最上游的生物基因数据、合成生物学研发自动化，到下游的材料科学、材料设计、改性和加工聚合的全产业链研发功能。

公司可以根据客户的需求设计产品。公司产品的研发始于客户的需求，客户首先提出目标材料定义一组属性，公司通过自己的生物制造平台去设计分子的结构、确定反应路径以及所需要的酶、设计和开发工程微生物，进而制造新型生物分子。接下来，公司利用合同制造组织（“CMO”）为公司制造产品。最后，一旦推出新产品，公司就会利用全球直销团队和应用销售工程师团队将产品销售给客户进行试用。

公司的产品研发目标为以传统化学法材料 1/2 的研发时间和 1/10 的经济成本研制出生物基替代材料。传统的化学法通常花费 10 多年时间和数亿美元来开发和商业化一种新型聚合物材料，公司估计推出产品的时间和成本大致为 5 年、5000 万美元。根据公司研究的三个步骤测算，第一步可以在大约一两年内完成，成本约为 500 万美元，第二步大约需要一年，成本约为 500 万美元，第三步大约需要三年时间，成本约为 4000 万美元。但是根据公司之前四种产品的研发经验和监管带来的不确定性，公司预期目前的

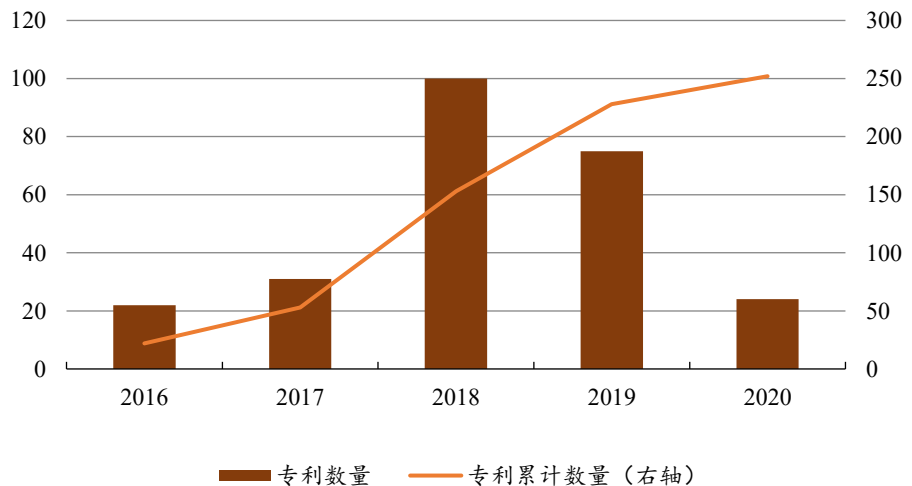
时间成本和经济成本还无法达到公司的目标。

人工智能和大数据可以为公司的研发降本增效，并逐渐加深数据护城河。在产品开发和宿主微生物优化过程中，公司进行了数轮的迭代实验，每轮都会生成专有数据：一是分子结构的数据，数据来源于使用生物基分子反复配制材料，测试其物理、化学和其他性能特性；二是生产微生物的基因型的数据，源自将基因组文库不同的基因片段反复应用于微生物宿主的基因组，并分析对关键生产表型（如滴度和生产力）的影响。公司的机器学习工作流程也可以随着时间的推移而改进，进一步增强其算法并深化公司的专有数据护城河。随着公司将新产品推向市场收集更多数据和经验，公司将继续提升研发效率、降低研发成本。

针对电子产品领域具有高附加值的生物法替代产品，公司采用启动加速策略有望将研发到商业化的过程缩短到两年。公司在确定了要替代的生物分子后，先推出了一种来自第三方的非发酵生产的相同和类似的生物分子来给下游客户进行适用，同时公司并行进行生物发酵生产方式的研发。这样可以极大的缩短整个产品研发的周期有望在 1-2 年内即可实现产品的商业化发布，公司的第一款产品 Hyaline 就成功使用了这种策略，但是与传统的研发方式相比，这也意味着公司在前期要承担更大的研发与生产成本。

Zymergen 注重研发，核心竞争力在于其创新体系。Zymergen 公司累计申请专利数量逐年增加，据招股说明书，公司已经提交了大约 500 项专利和临时专利申请，其中大约 322 项正在申请中，涉及高通量（HTP）筛选平台和发现工具、用于基因组工程的机器学习工具、微生物生产、分子和基因编辑工具、基因编辑方法等诸多领域。公司建立了一个多学科交融的专业团队，由生物学家和生物化学家、材料科学家和化学家、自动化工程师、软件工程师和数据科学家以及商业和工业专业人员组成，实现了科学、工程和商业的融合，截至 2020 年年底，公司约 30% 的员工拥有博士学位。

图表 57 Zymergen 专利数量变化

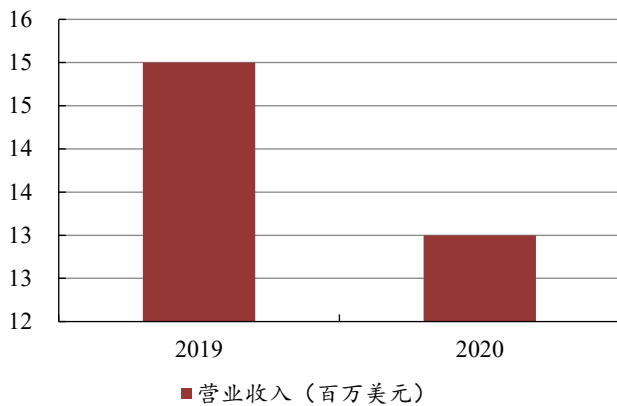


资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

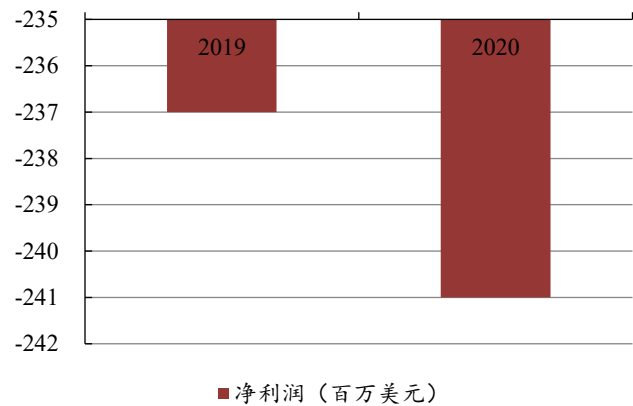
公司的营收模式为研发服务和产品销售并行。迄今为止，公司几乎所有收入都来自研发服务合同和合作安排。公司的生物制造平台可以给合作伙伴提供定制服务来开发、测试和验证产品，还可以将生物制造平台的三种功能之一作为独立服务。在接下来的几年里，随着公司不断实现现有产品的商业化，产品收入将成为公司的主要收入来源。然而，在短期内，公司预计收入将继续从研发服务协议和合作中获得，并且随着公司进入新的垂直领域，可能会与更多的合作伙伴合作并提供研发服务。

Zymergen 在产品还未开始销售的情况下，未实现盈利。公司 2020 年实现营业收入 1328 万美元，净亏损 2.6 亿美元。目前，公司大部分收入都来自研发服务合同和合作安排，尚未从产品销售中获得任何收入。在推出首款产品 Hyaline 后，公司的全球直销团队和应用程序销售工程师正在与客户进行合作销售资格认证。在此期间，公司向客户提供产品样品供在客户的产品中试用。销售资格认证过程通常持续至 18 个月甚至更长时间，只有在客户完成了该产品所有方面的资格认证流程并决定订购后，公司才能产生收入。

图表 58 Zymergen 营收



图表 59 Zymergen 归母净利润



注：按照当年年均汇率换算
资料来源：wind，华安证券研究所

注：按照当年年均汇率换算
资料来源：wind，华安证券研究所

2.1.6 Amyris: 综合性合成生物学巨头

Amyris 作为一家领先的合成生物技术公司，致力于为全球提供石油、植物和动物产品的生物法替代品。公司拥有业内领先计算工具、菌株构建工具、筛选和分析工具以及先进的实验室自动化和数据集成技术。公司的生物技术平台使公司能够快速设计微生物，并将其用作催化剂，将可再生的植物来源的糖代谢成高价值成分，进而实现规模化生产以及产品市场化。公司成功开发、生产和商业化了 13 种不同分子，这些分子被应用在全球数千个知名品牌的配方中，还有 18 种产品也在积极开发中。公司的第一个商业产品从菌株到试点工厂运行花了大约 40 个月，发展到今天，这个过程缩短到平均不到一年，产品开发成本也下降了 90%。

2000 年-2010 年，合成生物学领域掀起了第一波产业化浪潮。在这一阶段，大部分合成生物学公司处于早期探索阶段。2003 年，加州大学几位学者在研究如何利用生物技术的方法抗疟药物青蒿素的过程，成立了一家生物技术公司——Amyris。2005 年，通过 Bill & Melinda Gates 基金会的一笔赠款，公司研发出能生产青蒿素的酵母菌株，抗疟药物的成功研制，让 Amyris 在紧缺药物供应链上占有了一席之地。2008 年，该技术转让，公司转行成为生物制造领域的研发、生产公司。2010 年，公司上市。之后由于高管的过度自信，无法恰当评估规模化生产的难度，Amyris 陷入大规模生产困境，公司进入低谷。在近 10 年，公司一直努力再创辉煌，并在产品结构和产能提速上付出了很多的努力，随着成功规模化生产第一个产品法尼烯、第二个产品香精香精分子，甜味剂产品等多个产品和品牌的逐步推出，公司经营情况逐步改善。

图表 60 Amyris 公司发展历程

时间	事件
2003 年	公司成立，定位为利用生物技术的方法抗疟药物青蒿素
2005 年	通过 Bill & Melinda Gates 基金会的一笔赠款，公司研发出能生产青蒿素的酵母菌株
2008 年	转行成为生物制造领域的研发、生产公司
2010 年	在纳斯达克上市
2011 年	与 Total 公司合作开发可再生燃料并成立合作公司
2012 年 12 月	融资 4225 万美元，巴西的专用工业发酵设施成功开始生产 Amyris 的可再生法呢烯，并创建了品牌 Biofene
2013 年 3 月	与全球领先的香料和香精公司 Firmenich SA 宣布合作开发和商业化用于香料和香精 (F&F) 市场的可再生成分
2014 年 9 月	与 Braskem 和 Michelin 携手促进可再生异戊二烯的工业化和商业化
2015 年 1 月	进入工业清洁产品市场
2015 年 7 月	推出首个消费者的美容品牌, Biossance
2015 年 9 月	宣布与 DARPA 签订多年技术投资协议合作开发小分子
2016 年	涉足蛋白质类产品
2017 年 7 月	与帝斯曼签订了食品和营养分子的首个产品开发和生产协议
2017 年 11 月	帝斯曼与 Amyris 扩大战略联盟，作价 9600 万美元并从 Amyris 手中收购巴西生产设施
2018 年 10 月	成功生产了工业规模的新型零卡路里天然甜味剂
2019 年 3 月	宣布签署 3 亿美元的权威性大麻素协议
2019 年 12 月	Amyris 向消费者推出 Purecane 牌甜味剂

资料来源：Amyris 官网，华安证券研究所

图表 61 Amyris 融资历程

时间	事件
2012 年 2 月	从淡马锡、Gas & Power USA, SAS 等融资 8370 万美元。
2013 年 8 月	从淡马锡融资 6000 万美元。
2013 年 12 月	从淡马锡与金刚狼资产管理公司融资 2800 万美元。
2016 年 2 月	Amyris 宣布完成 2000 万美元的私募融资。
2017 年 5 月	从帝斯曼等处融资 9500 万美元。
2018 年 1 月	获得超过 2500 万美元的赠款。
2019 年 4 月	通过私募交易融资 3400 万美元。
2020 年 2 月	通过私募交易融资 4200 万美元。
2020 年 6 月	通过私募融资 2 亿美元。

资料来源：Wind，华安证券研究所

公司核心管理团队具有丰富的业内经验，公司 CEO John Melo 拥有 30 年的研发和企业领导经验，曾在石油、天然气领域多次担任行业高级主管，在业内和政界拥有丰富的资源。公司的研究与开发副总裁 Sunil Chandran 在工业生物技术领域有超过 15 年的工作经验，领导了多个代谢工程项目，成功推出了多个生物技术产品并实现市场化，在合成生物学领域拥有诸多研究成果。公司的各产品总裁也均具有丰富的管理和销售经验。

图表 62 Amyris 核心人员简介

人员	职务	简历
John Melo	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 拥有 30 年的综合经验，曾担任过石油、天然气行业企业的高级主管和美国-巴西 CEO 论坛美国的成员 是 Renmatix Inc. 的董事会成员，BayBio 的董事会成员，生物工业和环境部门的理事，葡萄牙侨民理事会的成员。
Sunil	研究与开发	<ul style="list-style-type: none"> 领导 Amyris 的研究与开发（包括合作），在 2019 年 5 月被任命为研究与开发高级副总

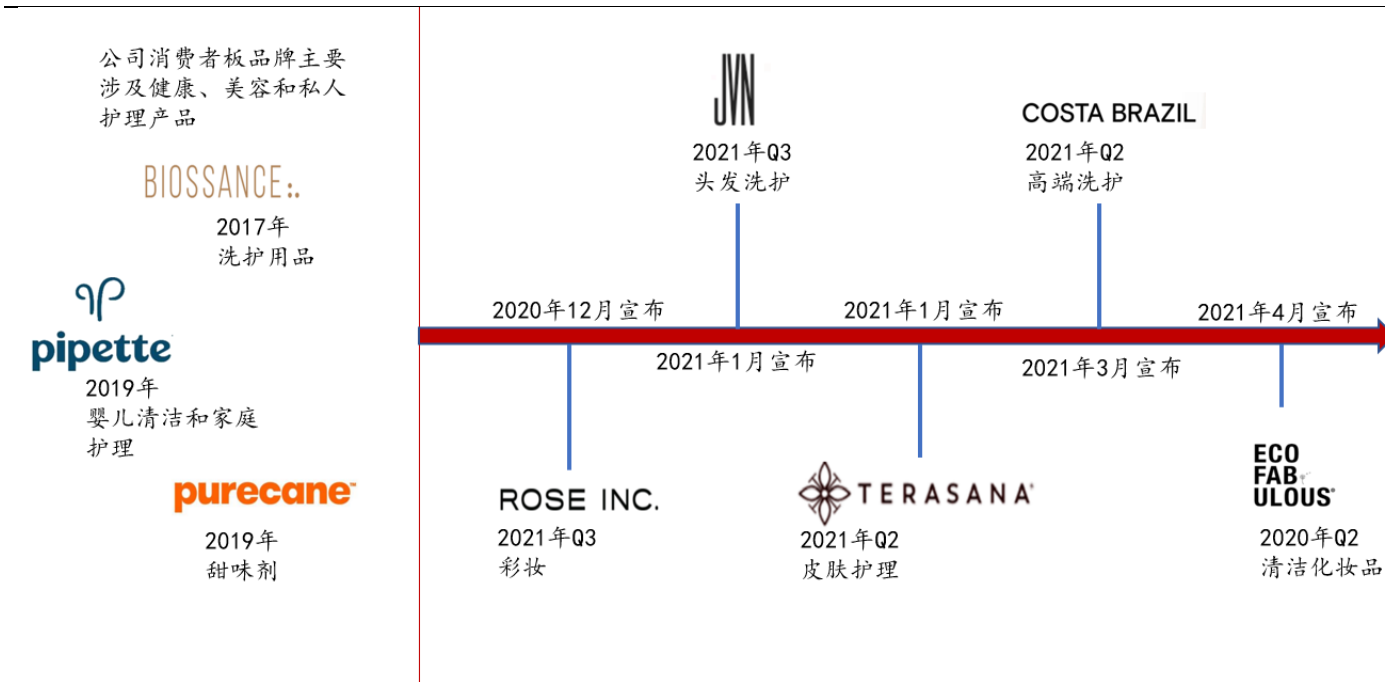
Chandran	高级副总裁	<p>裁，在工业生物技术领域拥有超过 15 年的经验，拥有将多种生物技术产品推向市场的经验，领导了多个代谢工程的项目，是世界一流的自动应变工程 (ASE) 平台的主要架构师</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Sunil 曾在 Kosan Biosciences 担任科学家，研究聚酮化合物合酶制造新型药物候选物的能力 ➢ 拥有 20 多篇已发表的科学论文，书籍和专利
Daya Fields	Pipette 和 Purecane 总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 2020 年 7 月加入 Amyris 担任总裁，监督 Pipette Baby&Purecane 两个品牌 ➢ 曾担任 Alaffia 的营销和产品开发高级副总裁，Alaffia 是一个天然成分美容品牌；曾在纽约市的消费者包装商品行业工作十年。
Oreste Fieschi	甜味剂和配料总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 于 2019 年 2 月加入 Amyris，担任甜味剂和配料总裁 ➢ 曾在 Naturex 担任首席商务官领导全球销售和市场营销，在包括化学品，个人护理以及食品和饮料在内的各领域拥有 20 多年的高管经验，曾领导泰特莱尔 (Tate&Lyle) 实现拉丁美洲销售额快速增长；曾在 IFF 等公司担任重要的商业和业务开发角色，IFF 是一家领先的香料和香精开发商和制造商。
Gatherine Gore	Biossance 总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 于 2018 年 7 月加入 Amyris，担任全球销售，营销和教育高级副总裁，并于 2019 年 2 月晋升为 Biossance 总裁 ➢ 曾担任 LVMH 旗下 Kendo 美容品牌产品组合的全球总经理，组合包括 Marc Jacobs Beauty, Kat von D, 迪士尼和 Ole Henriksen 护肤品。
Caroline Hadfield	Aprinova 总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 于 2015 年 6 月加入 Amyris，担任个人护理高级副总裁，领导了该公司消费化妆品的 B2B 和 B2C 销售计划，创建和开发了 Biossance，并任清洁护肤品牌总裁；于 2018 年 7 月担任公司 Aprinova 护肤成分业务总裁。 ➢ 拥有多年专门从事健康，保健和个人护理市场领域的零售咨询业务。

资料来源：Amyris 官网，华安证券研究所

Amyris 主营产品主要涉及三大领域，清洁美容、健康保健、香料香精。

(1) 清洁美容：包括清洁护肤品和化妆品成分，公司与合作伙伴以及品牌化的皮肤护理公司 Biossance 和婴儿和母亲护理公司 Pipette 一起开发产品并商业化。公司该领域主要产品角鲨烷是清洁护肤产品中的优质润肤剂，传统上，该成分是用橄榄油制成或者是从深海鲨鱼肝油中提取的，这就需要杀死鲨鱼才能收获其肝油。角鲨烷价格相对较高且供应不稳定，其用途通常仅限于奢侈品或大众市场产品配方中的少量成分。公司通过生物制造的方法将法尼烯转化为角鲨烷，性能优于常规来源的角鲨烷而且成本更低。除了角鲨烷以外，公司还为化妆品市场提供第二种低成本的化妆品成分半角鲨烷。公司已与业务涵盖日本，韩国，欧洲，巴西和北美在内的多家区域分销商签署了供应协议。此外，2021 年有望打造四个全新的护肤品牌，包括两个快速增长的美容品牌，清洁彩色化妆品品牌 Rose Inc 和护发品牌 JVN，两个特色护肤品牌，豪华护肤品牌 Costa Brazil 和治疗痤疮的品牌 Terasana。

图表 63 Aymris 产品梯队



资料来源：Amyris 2020 年年报，华安证券研究所

(2) 健康保健：公司的健康与保健产品包括无糖甜味剂、营养品（如维生素）和食品成分。2015 年，公司宣布签署第一个配料供应协议和合作协议。根据供应协议，公司向合作伙伴提供法尼烯，然后进一步由合作伙伴加工成营养产品。2016 年，公司首次向合作伙伴大规模发货法尼烯，合作伙伴进一步利用法尼烯成功生产了营养产品。2017 年和 2018 年，公司扩大了与合作伙伴在营养学方面的合作，将维生素产品扩展到四种。2018 年末，公司开始以商业规模生产无糖甜味剂，于 2018 年 12 月向公众推出了该产品——Reb M，到 2019 年底，公司还推出了公司的甜味剂品牌 Purecane。

(3) 香料香精：香料和香精市场上使用的许多天然成分由于化学合成过程复杂而价格昂贵。2014 年，公司研发了第一个香精香料分子，通过公司在香精香料领域的合作伙伴推向市场。2015 年底，公司开始向同一合作伙伴供应第二种香精香料分子。在 2019 年期间，公司成功产业化了两个新的香料香精分子，并且向合作伙伴提供了七种用于香料香精市场的化合物产品。在 2020 年，公司研发了第十种分子，一种品质领先的天然香料，并在第三季度成功完成了试生产。

除了以上产品，Amyris 还与 Novvi 合作研发出了具备极高性能的生物法润滑剂，该润滑剂能够在极端环境下展现出出色的性能；公司还有望在 2021 年进入仿制药和创新药领域；在 2020 年底，公司与 IDRI 达成合作协议生产 COVID-19 疫苗，该疫苗有望能在冰箱（非深度冷藏环境）中保存长达一年半，并且能在室温中保存 8 个月；公司参与研发的高密度燃料 BR-1 将应用于海军空战中心，该产品具有高密度、低成本的特点，能够较大提升飞机的续航时间，同等效果的合成燃料 JP-10 价格在 20 美元每加仑左右。

Amyris 研发过程主要分为三个环节：

(1) 识别目标分子。由客户和公司确定对产品性能和分子特性的要求，公司分析具备这些关键性能的特征化学结构。

(2) 菌株初步设计。确定生产目标分子所需的反应步骤与生物酶，进一步确定该

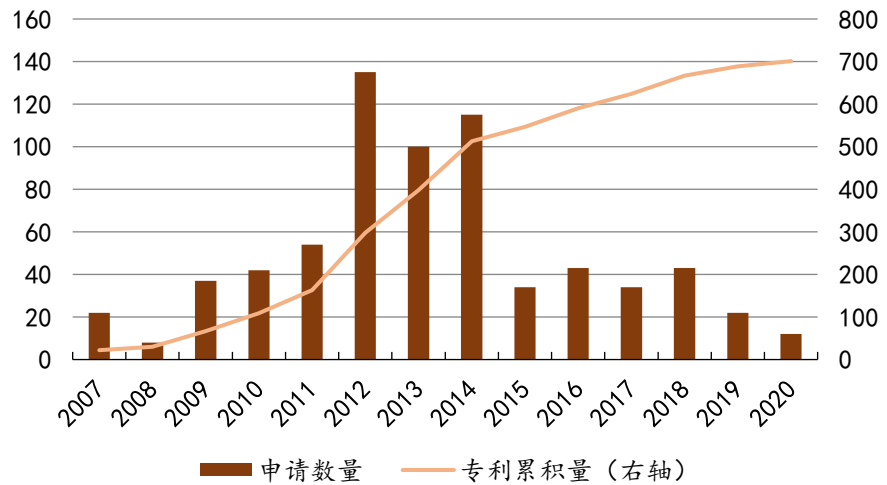
生物制造过程可能所需的微生物和基因。酵母菌株效率的两个关键指标是产率和生产率。在实验室规模（在受控的环境中以高度均一的原料进行生产）和商业规模（使用甘蔗汁等可商购的原料现场生产产品）的产量进行测量。产率用百分数表示，例如 10% 的产率表示从十克输入的糖中生产出一克产品。生产率代表给定酵母菌株生产公司产品的速率，具有更高生产率的菌株，在给定的时间内，相同大小的发酵罐中可以生产出更多的产品。主要采用以下方法将生物工程化为酵母菌株。

(3) 改造菌株。在确定反应路径并验证其可以产生目标分子后，必须改良酵母菌株以提高生产效率。通过两种不同的科学方法（随机诱变和合理设计）来实现菌株的改造。在随机诱变中，将诱变剂（例如紫外线）应用于已经产生一定量目标分子的菌株，目的是诱变或遗传改变菌株，以便提高生产效率。为了鉴定比亲本或起始菌株更有生产力的菌株，必须筛选大量诱变的菌株。公司已经开发了能够筛选成千上万株菌株的检测方法，并且开发了用于快速或高通量生产分析的检测方法。在合理设计中，通过使用诸如基因组学（用于分析细胞内核酸），代谢组学（用于分析细胞内反应中间体）和蛋白质组学（用于分析细胞内酶）等技术，公司可以识别糖原料流向目标分子过程可能存在的瓶颈，进行有针对性的或合理的遗传改变。此外，为了提高设计工作的效率，公司开发并实施了一系列自动化流程：快速菌株设计工程、自动化菌株设计工程、高通量测定等。

公司的生物技术平台具有专有计算工具、菌株构建工具、筛选和分析工具以及先进的实验室自动化设备和数据集成能力，研发效率不断提升，新产品上市时间由最初的 7 年缩短至 1 年。世界各地的公司和研究人员都在不断学习生物体中复杂的生物过程是如何运作的，由于还有很多未知，因此开发商业可行菌株的最佳方法是尽可能准确和快速地测试尽可能多的假设，以加快学习曲线。公司开发了一种高通量菌株工程系统，每月能够生产和筛选超过 60 万个候选酵母菌株，这使公司能够将每个菌株的成本比 2009 年降低约 90%。自公司成立以来，公司生产和筛选了超过 830 万个独特菌株。通过公司的实验室规模和中试发酵操作以及公司专有的分析工具，现在能够以高可靠性预测工业规模候选菌株的性能。由于生物技术在不同规模上的不可预测性，生物技术商业化最具挑战性的部分通常是生产规模放大和制造阶段。公司通过大量投资于预测模型来快速确定菌株在不同规模转化时生产的特点，在商业规模的制造之前，改进菌株以提高生产效率水平，并在中试规模设施中测试其性能。公司的独特基础设施包括实验室规模的发酵罐（0.25 至 2 升），位于加利福尼亚州埃默里维尔的工厂和巴西坎皮纳斯的运营中试工厂（300 升至 2000 升），并在巴西布罗塔斯拥有经营 120 万升生产设施的五年经验，这些设备和经验可以帮助公司加快产品上市速度、降低总体开发成本和风险。

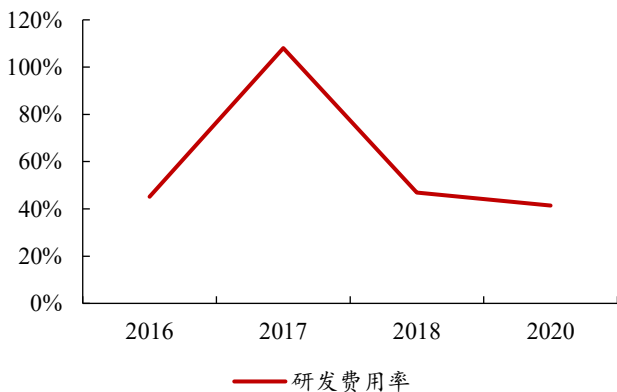
Amyris 注重研发创新，专利布局逐年完善。截至 2020 年年底，公司拥有或共同拥有 695 项已授权的专利以及 220 项正在申请中的专利。公司将大量资源投入到研发工作中。迄今为止，已经在研发上投入了超过 7.5 亿美元，公司的研发费用率近四年一直保持在 40% 以上。

图表 64 Amyris 专利数量变化



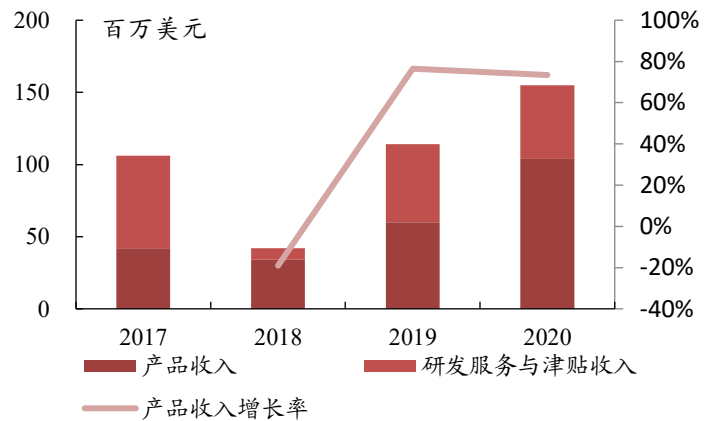
资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

图表 65 Amyris 研发费用率高



资料来源：wind，华安证券研究所

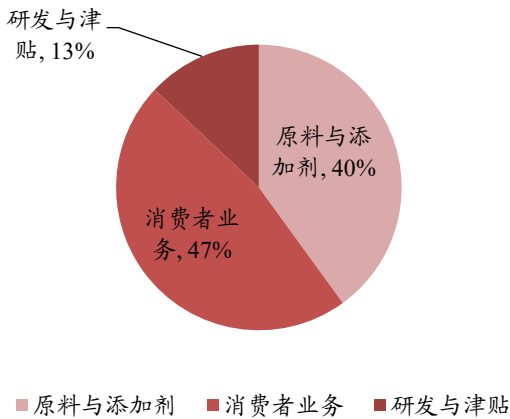
图表 66 Amyris 产品收入增长迅速



资料来源：wind，华安证券研究所

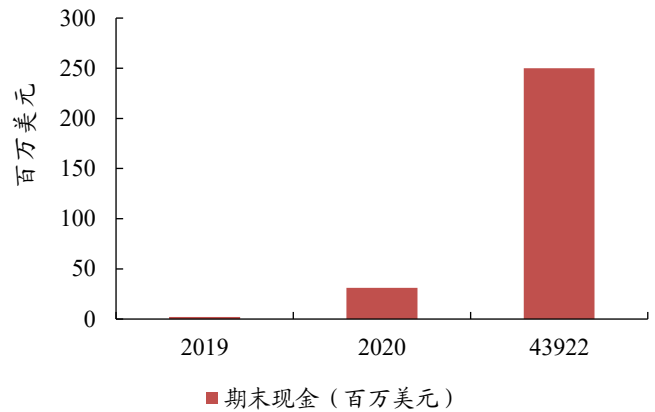
Amyris 收入包括产品收入、许可证和特许权使用费收入以及授权和合作收入。公司自成立以来连续经营亏损，一方面是因为公司营收主要来自于合作研发收入，产品收入相对较少。另一方面是因为公司一直保持着较高的研发投入和产品梯队的扩张。产品的市场化收入才是公司发展的目标和扭亏为盈的关键，随着产品不断市场化和公司自营品牌的建立，公司的产品收入稳健增长，在 2020 年，公司的产品收入占比达 87%，其中以 Biossance、pipette 和 purecane 为代表的消费者板块全年同比增长 197%，以香料香精、食品添加剂和美容为代表的的添加剂板块全年同比增长 26%。这些数据代表着公司的盈利模式已经逐步清晰，未来有望进入新的发展阶段。

图表 67 Amyris 收入分布



资料来源: wind, 华安证券研究所

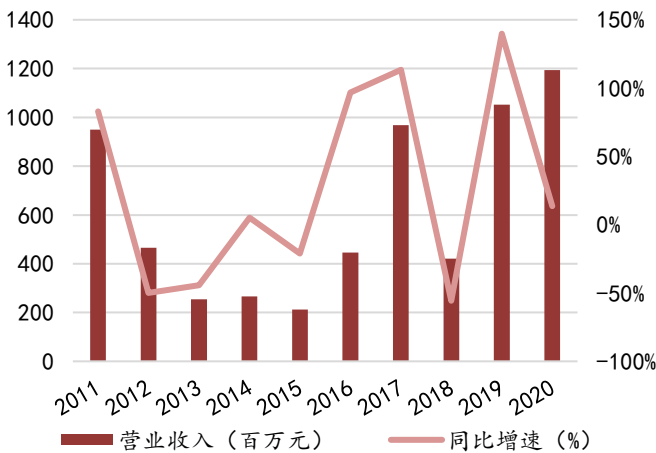
图表 68 Amyris 账面现金情况持续改善



资料来源: wind, 华安证券研究所

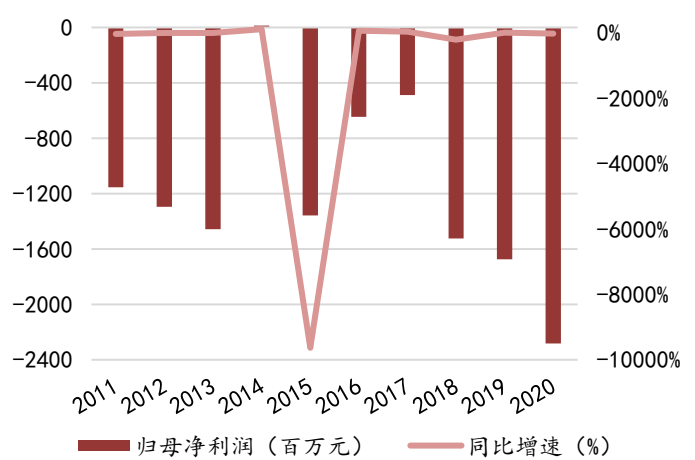
Amyris2020 年营收 1.73 亿美元, 归母净利润-3.72 亿美元, 尽管还处于亏损的状态, 但是公司的各项财务数据却得到了显著的改善, 公司业务总营收和产品营收创历史新高, 公司毛利率从去年 56% 增长到 66%, 调整后的 EBITDA 更是历史性首次由负转正达 1 亿美元, 公司负债由 2.97 亿美元降至 1.71 亿美元, 此外, 公司的账户现金余额也由 2020 年末的 3000 万美元增至 2.5 亿美元, 未来公司还将通过变卖数个产品的专利权优化公司的现金流。

图表 69 Amyris 营收及增速



注: 按照当年年均汇率换算
资料来源: wind, 华安证券研究所

图表 70 Amyris 归母净利润及增速



注: 按照当年年均汇率换算
资料来源: wind, 华安证券研究所

2.1.7 Gevo: 生物法制造燃料龙头

Gevo 是一家专注于生物法制造可再生燃料和可再生化学品的公司。公司成立于 2005 年, 于 2011 年在美国纳斯达克上市, 总部位于美国科罗拉多州。公司自 2005 年成立至 2011 年上市之前, 经历了 5 次融资, 在这五次融资的过程中, 均有 Khosla Ventures 的参与, 且 Khosla Ventures 是公司的第三大股东, 在上市后, 公司通过发行新股和商业票据的形式融资十数次, 公司最新的一轮融资在 2021 年 1 月, 公司通过定向增发募集资金 3.26 亿美元, 这是公司迄今为止募集的最大的一笔资金。

公司的联合创始人 Patrick R. Gruber 和 Frances Arnold, 两人均在合成生物所具

有很高的成就，Patrick 是公司的首席执行官，还是 NatureWorks 共同创始人之一，曾在 2008 年获得华盛顿卡佛奖，表彰其在工业生物技术及其在生物工程、环境科学、生物精炼和生物基产品中的应用方面做出的重大贡献。Frances Arnold 在 2011 年离职，2018 年，她因为在酶的定向进化的成就获得了诺贝尔奖，她曾在多家生物合成领域的公司如 Maxgen、Amyris、Codexis、Arzeda、Mascoma、JBEI、Genomatica、provivi、Illumina 担任重要职务。

图表 71 Gevo 核心人员简介

人员	职务	简历
Patrick R. Gruber	首席执行官，联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 自 2007 年担任公司首席执行官兼董事 于 2005 年至 2007 年担任 Outlast Technologies 的 CEO；他人共同创立了 NatureWorks LLC；于 1997 年至 2005 年期间担任技术和运营副总裁兼首席技术官，负责该领域的各个业务，包括项目、应用程序和过程技术开发 被授予明尼苏达大学杰出成就奖；获得了有史以来首个乔治华盛顿卡佛奖，以表彰其在工业生物技术及其在生物工程、环境科学、生物精炼和生物基产品中的应用方面做出的重大贡献
Frances Arnold	联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> Frances 是公司的联合创始人，在公司任时间为 2005 年至 2011 年 她曾在多家生物合成领域的公司如 Maxgen、Amyris、Codexis、Arzeda、Mascoma、JBEI、Genomatica、provivi、Illumina 担任重要职务 因酶的定向进化而获得了 2018 年诺贝尔化学奖，是获得该奖项的第五位女性，第一位获得该奖项的美国女性
Christopher M. Ryan	首席运营官	<ul style="list-style-type: none"> 自 2011 年 6 月起担任公司总裁兼首席运营官，自 2012 年 9 月起担任公司首席技术官，且自 2009 年 6 月起担任公司业务发展执行副总裁 1997 年与他人共同创立了 NatureWorks，参与了该公司实验室新的生物基聚合物的开发和商业化，1992 年实现规模生产，并耗资 3 亿美元建立了世界规模的生产设施；在 1992 年之前，在特殊化学品公司 HB Fuller Company 的企业研发部门工作了四年，在战略领导方面拥有超过 22 年的经验
Daya Fields	首席技术官和首席信息官	<ul style="list-style-type: none"> 2021 年 3 月以来担任公司的首席技术官和首席创新官 曾担任 Archer-Daniels-Midland 公司 (“ADM”) 可持续材料部副总裁，一家公开交易的食物加工和商品贸易公司 2013 年 11 月到 2020 年 3 月，担任 ADM 工艺与化学研究部副总裁。

资料来源：Gevo 官网，华安证券研究所

图表 72 Gevo 上市前融资历程

时间	事件
2005 年 8 月	从 Khosla Ventures 和 Osage University Partners 筹集了 50 万美元的 A 轮融资。
2007 年 3 月	从 Khosla Ventures 筹集了 250 万美元的 A 轮融资。
2008 年 5 月	从 Khosla Ventures、马来西亚生命科学资本基金和 Virgin Green 基金筹集了 1700 万美元的 C 轮融资。
2009 年 8 月	从 Khosla Ventures、马来西亚生命科学资本基金、Osage 大学合作伙伴和 Virgin Green 基金筹集了 4000 万美元的风险投资。
2010 年 5 月	从 Burrill & Company、Khosla Ventures、Lanxes、Osage University Partners、Spruce Capital Partners、Total Ventures、TriplePoint Capital 和 Xeraya Capital 筹集了 3260 万美元的 D 轮融资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

Gevo 主营产品主要分布在生物燃料和可再生化学品领域，已经成功上市的产品有生物法乙醇、异辛烷、异丁醇和异丁烯，公司研发产品涉及的细分领域包括可再生汽油、可再生柴油、可再生航空燃料、动物饲料和蛋白质、可再生天然气等，但是就目前公司收入结构来看，乙醇相关的生产和销售占比超过七成。

公司目前拥有两家可再生燃料生产基地。第一个是得克萨斯州的希尔斯比经营示

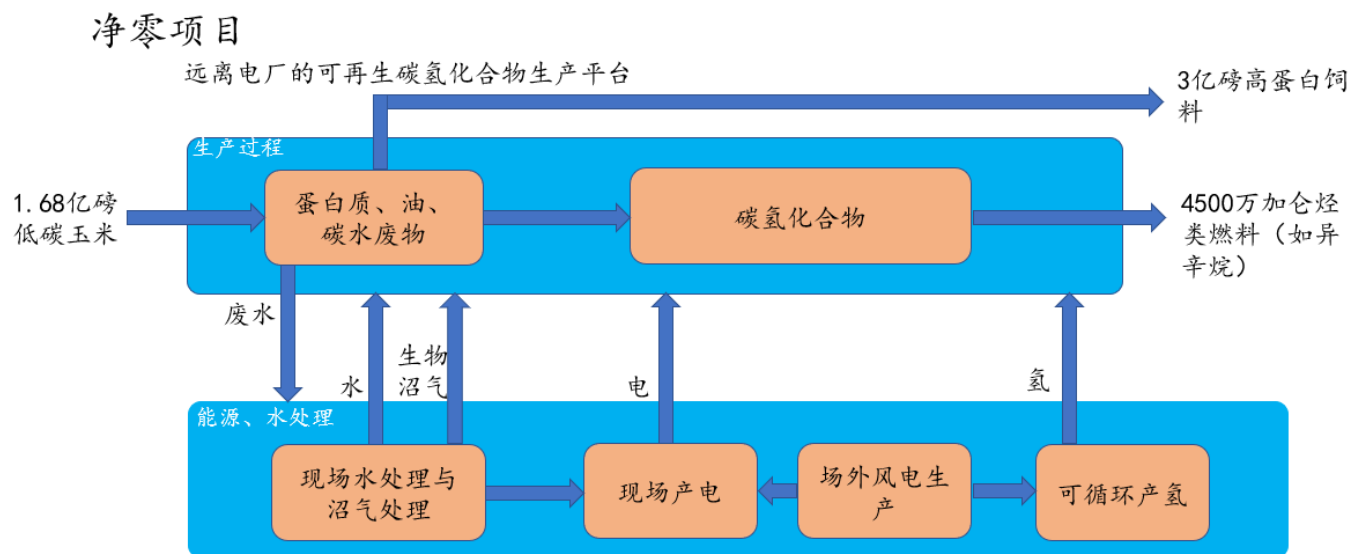
范工厂，该工厂是与南汉普顿资源公司合作开发并运营的，每年能够生产 10 万加仑可再生碳氢化合物产品，包括可再生优质汽油和可再生喷气燃料，这些产品都是由可再生异丁醇生产。第二个是在明尼苏达州的卢韦恩工厂，该工厂是公司独资设立的，每年可生产异丁醇 150 万加仑。此外，公司还计划对该工厂进行扩建，于 2020 年 4 月与花旗合作，共同为卢韦恩工厂扩建募资。

公司目前开发的新一代可再生燃料技术，它克服了第一代可再生燃料的局限性。开发的碳氢化合物燃料可以直接替代原油衍生的常规燃料，无需对现有的基于化石燃料的发动机、供应链和设备的改进。借助公司的产品，航空业可以实现零碳排放。除此之外，公司研发的可再生燃料也消除了传统化石燃料燃烧过程中排放的污染物。公司可用玉米以外的其他原料生产可再生燃料，例如糖，糖蜜，农业残留物（例如稻草、甘蔗渣、秸秆），木材和木材残留物以及生物源性城市固体废物。

在 2019 年，公司开始研发通过厌氧菌消化动物粪便产 RNG 的项目。全面运行后，预计 Gevo 的 RNG 项目每年将产生约 355000 MMBtu 的 RNG。项目受到了加利福尼亚州的低碳燃料标准计划和美国环境保护局的可再生标识号计划的扶持。项目资金来源于公司在 2021 年 4 月募集的 6815 万美元的固废设施收益债券和 2021 系列绿色债券。

Gevo2021 年初宣布了“净零项目”的概念，该项目利用可再生能源和生物发酵结合生产高能量密度的碳氢化合物，可以用作汽车、飞机、卡车和轮船的燃料。公司计划在南大克塔州建设的第一个项目“净零项目 1”，预计每年能够生产 3 亿磅高蛋白饲料和 4500 万加仑烃类燃料。

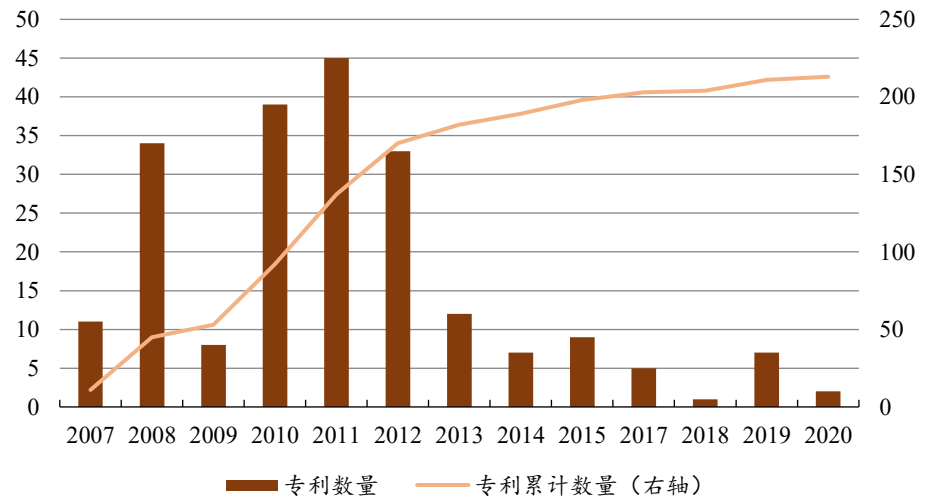
图表 73 Gevo 的“净零项目 1”规划



资料来源： Gevo 年报，华安证券研究所

公司专利众多且与合作伙伴拥有交叉许可协议。公司授权和正在申请的专利 218 项，涉及合成生物学相关的技术、可再生燃料和生物工业化学品等领域，而且根据 2015 年 8 月 15 日与 Butamax Advanced Biofuels LLC (“Butamax”) 签订的专利交叉许可协议 (“许可协议”) 的条款，公司对 Butamax 拥有的大约 250 项与可再生异丁醇有关的专利使用权。此外公司拥有涉及生物催化剂、操作工厂的专有技术以及跟踪产品的区块链技术等商业秘密。

图表 74 Gevo 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

Gevo 2020 年总收入 553.6 万美元，净亏损 4018.6 万美元，截止目前，公司一直处于亏损状态，与其他生物制造领域的公司研发费用的高占比不同，公司的销售、管理和经营费用占总费用比例一直超过七成，且未来在建项目众多，将维持较高的资本支出，公司财务状况在很长一段时间不会乐观。

2.1.8 Bolt Threads: 纺服和皮革生物新材料生产商

Bolt Threads 是致力于利用生物法制造新材料的公司。公司总部位于美国加利福尼亚州，由 Dan Windmaier, David Breslauer 和 Ethan Mirsky 于 2009 年 8 月成立。公司成立之初是由美国国家科学基金会和美国军方公司出资扶持的研发在弹道学和缝纫科中可用的合成丝。2017 年，公司推出首款产品“MICROSILK (微丝)”，2018 年开始研发 NYLO 皮革和 B 丝蛋白产品。目前，三种产品均已实现不同程度的商业化，受到了市场的好评。其中，“MICROSILK”和 MYLO 皮革产品还受到时尚界和奢侈品公司的广泛关注。公司自成立以来经历了 5 轮融资，最新一轮融资是发生在 2017 年 5 月的 D 轮融资，融资额为 1.23 亿美元。

图表 75 Bolt Threads 融资历程

时间	事件
2014 年 5 月	筹集了 510 万美元的风险投资。
2014 年 11 月	从 Foundation Capital、Mission Bay Capital、Silicon Valley Bank 和 Zygote Ventures 筹集了 770 万美元的 A 轮融资。
2015 年 6 月	从 Alafi Capital、East West Capital Limited、Formation 8、Foundation Capital、Founders Fund 和 Mission Bay Capital 筹集了 3230 万美元的 B 轮融资。
2016 年 5 月	从 Alafi Capital、East West Capital Limited、Formation 8、Founders Fund、Innovation Endeavors、LeFrak Ventures 和 Nan Fung Life Sciences 筹集了 5000 万美元的 C 轮融资。
2017 年 1 月	从 Baillie Gifford、富达管理与投资公司、Formation 8、Founders Fund 和淡马锡控股 (Temasek Holdings) 筹集了 1.23 亿美元的 D 轮融资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

图表 76 Bolt Threads 核心人员简介

人员	职务	简历
Dan Widmaier	首席执行官, 创始人	<ul style="list-style-type: none"> 加州大学化学与生物学博士 自 2009 年以来一直担任公司的 CEO, 通过技术开发、产品扩展和融资引领公司发展 他研究项目包括蜘蛛丝蛋白的生产和分泌、代谢工程、从微生物生产甲基卤化物等。
David Breslaure	首席科学官 联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 加州大学生物工程博士 领导 Bolt 的技术创新以及生物材料的开发, 是 Genecis Biotechnologies 的技术顾问
Sue Levin	首席营销官	<ul style="list-style-type: none"> 负责监督公司营销策略、品牌塑造以及将科研产品市场化, 还负责 Bolt 的美容和个人护理业务 曾担任耐克女士运动市场部全球总监, 美国女子品牌总监; 离开耐克后, Sue 与人共同创立了开拓性的女性运动装品牌露西 (Lucy), 任首席执行官, 带领露西成功完成了从网络公司到多渠道零售商的过渡
Jamie Bainbridge	产品开发副 总裁	<ul style="list-style-type: none"> 纺织行业的专家, 主要负责解决材料和纺织品开发的相关工作, 负责监督 Mylo 的制造, 确保产品的高品质、柔软度和悬垂性以及能够呈现任何颜色或浮雕的能力 曾在耐克和 Patagonia 从事研发和创新工作, 并曾担任一家专注于可持续纺织品的制造品牌 Nau Clothing 的产品、纺织品和可持续性总监
Nick Toriello	Mylo 总 经理	<ul style="list-style-type: none"> Mylo 业务部门负责人, 确定了 Mylo 战略方向和商业化路线图 曾任 Novozymes 的总经理, 开发了用于发现改良的工业酶下一代工具; 是诺维信收购的生物燃料公司 Allopatis Biotechnologies 的联合创始人兼运营副总裁。

资料来源: Bolt Threads 官网, 华安证券研究所

Bolt Threads 具备三款产品从基因工程、规模化生产到分离纯化的全产业链技术。

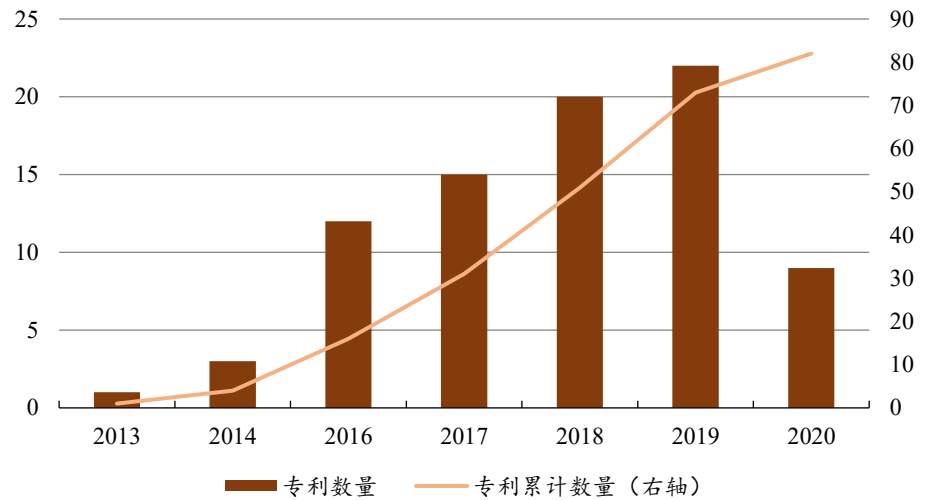
(1) “MICROSILK” 产品通过对酵母菌的基因改造, 使其可以利用糖类物质和水生产丝蛋白, 然后通过分离和纯化纺成纤维用于纤维编织物或者纺服。其产品性能类似于人造丝和丙烯酸纤维, 具有较高的拉伸强度、弹性、耐磨性和柔软性。与传统的纺织品相比, “MICROSILK” 对环境影响较小, 并且可通过生物降解。该产品已经在纺服领域得到了较好的应用, 2019 年 7 月, 阿迪达斯与 Stella McCartney 利用该材料推出了 Biofabric 网球连衣裙。此外该产品还用于针织帽、领带等纺服产品。

(2) MYLO 皮革利用真菌菌丝生产, 将真菌在公司的有机物质床上培养, 大约经过几天即可成型, 将真菌菌丝半成品通过处理和染色即可成为成型的产品, 用于鞋、包领域。该产品的生产不需要使用经过基因工程改造的微生物。MYLO 与动物或合成皮革性能相似, 并且可以呈现任何颜色、浮雕或纹理。Adidas、Lululemon、Stella McCartney 等品牌采用 MYLO 的产品已经陆续上市。

(3) 公司的 B-丝蛋白生产工艺与 “MICROSILK” 产品生产工艺相同, 只是在丝发酵产生丝蛋白之后的工艺不同。丝蛋白具有很好的亲水亲肤性能, 且不会水解, 具有较好的可调性和强度, 适用于洗护和美容产品。2019 年 3 月, 博尔特 (Bolt) 推出了以 B-丝蛋白为特色的护肤品品牌 “EIGHTEEN B”。2020 年 11 月, 素食主义者美容公司 Vegamour 首次推出了由 B-丝蛋白制成的 GRO Revitalizing 洗发水和护发素。

公司专利众多, 研发团队具有多年从业经验。公司目前拥有专利 82 项, 涉及有机化学、合成生物学、人造丝等领域, 两位创始人 Dan Widmaier 和 David Breslaure 均自博士期间便开始合成生物学和生物材料的研发, 均有丰富的研发经验。

图表 77 Bolt 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.1.9 Lygos: 生物法有机酸制造龙头

Lygos 是领先的生物法有机酸和生物单体的研发、生产、供应商，由 Eric Steen、Jay Keasling 和 Jeffrey Dietrich 于 2010 年在加利福尼亚州伯克利成立。公司成立之初受美国公司能源部资助研发丙二酸，发展至今，公司已经成为生物法有机酸、生物单体和大麻素研发与制造综合性企业，其垂直生产平台贯穿生物工程（蛋白质设计、代谢工程、高通量发酵）、制造生产（创新加工、优化、规模化生产）和商业化的全过程。

图表 78 Lygos 融资历程

时间	事件
2013 年 4 月	从美国能源部筹集了 100 万美元的赠款。
2014 年 12 月	从美国农业部筹集了 55 万美元的赠款。
2016 年 12 月	从 50 Years, First Round Capital, IA Ventures, OS Fund, Vast Ventures 和 Y Combinator 筹集了 1300 万美元的 A 轮融资。
2018 年 7 月	从 50years, First Round Capital, IA Ventures, OS Fund 和 Y Combinator 筹集了 1550 万美元的 B 轮融资。
2018 年 9 月	Lygos 从美国能源部筹集了 200 万美元的赠款。
2019 年 1 月	从 LG Technology Ventures 筹集了 500 万美元的 B 轮融资。
2019 年 3 月	从国家科学基金会 (National Science Foundation) 筹集了 75 万美元的资金。
2019 年 6 月	从美国能源部筹集了 200 万美元的赠款。
2019 年 9 月	从 CJ CheilJedang 筹集了 500 万美元的 B 轮融资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

图表 79 Lygos 核心人员简介

人员	职务	简历
Eric Steen	首席执行官、联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 主要职责包括建立战略构想，管理合作伙伴关系和客户开发、流程商业化、产品开发和筹款。 优化糖提高转化效率的专家，领导了美国能源部联合生物能源研究所的酵母工程，该工程主要是通过生物法将糖类转化为燃料和化学物质

Jason Poulos	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Lybres 的共同创始人兼首席执行官，该公司是 Lygos 的全资子公司，致力于可持续大麻技术的商业化。在 Poulos 的领导下，Libres 在投资者的支持下以及美国国立卫生研究院的多项奖励中引领了生物合成大麻素生产技术的发展 ➢ Poulos 拥有多项专利，包括围绕微生物中大麻素生产的关键 IP。
Nicholas Ohler	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要负责 Lygos 的工艺开发和产品制造，负责监督发酵、下游加工和分析部门的开发并实现规模化生产。带领公司团队成功实现了高纯度的丙二酸酯的规模化生产。在应用研究、开发和制造方面拥有 15 年的经验 ➢ 曾领导了 Evolva、生物建筑实验室和 Amyris 的工艺开发和规模生产，带领的产品包括法呢烯及其衍生物、海藻衍生的乙醇、白藜芦醇和圆柚酮
Andrew Conley	生物研发副总裁	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要领导 Lygos 的生物学部门，该部门通过合成生物学、多组学和计算生物学方法推进蛋白质、代谢和菌株工程，进而通过微生物菌株来生产生物分子，以取代有害的现有生产过程和产品 ➢ Conley 曾与众多大型跨国化学公司合作，在芬兰 VTT 技术研究中心领导许多工业生物技术项目。

资料来源：Lygos 官网，华安证券研究所

Lygos 目前研发的产品有天冬氨酸、大麻素、丙二酸、甘油酸、乙醇酸、异丁酸和乳酸，下游应用涉及的领域包括健康保健、电子、消费、工业材料以及生物治疗等领域。

1) 天冬氨酸：Lygos 的技术平台可实现可重复的高纯度天冬氨酸，并为高度可变和不纯净的竞争产品提供了替代方案，该产品可用作低热量甜味剂阿斯巴甜和可生物降解的聚合物聚天冬氨酸的前体。

2) 大麻素：Lygos 基于专有的发酵和加工技术开发了一种新颖的大麻素生产途径，该技术能够生产任何一种大麻素，与基于植物的生产相比，分离和纯化的问题大大减少了，以可持续和经济有效的方式为农业生产的大麻素提供了高性能的替代产品。

3) 丙二酸：Lygos 是第一家也是唯一一家证明能够通过生物法生产丙二酸生物基类似物的公司，该类似物的性能与丙二酸相同，且生产过程无毒，生产成本较低。Lygos 的生物丙二酸可用于生产多种调味剂，香料，药物和许多其他工学领域应用。

4) 甘油酸：Lygos 已发现可以使用两种不同的生物合成途径生产甘油酸。理论产量高。公司可以有效地将糖转化为甘油酸，且成本较低。Lygos 也是第一家宣布葡萄糖生产甘油酸的公司。

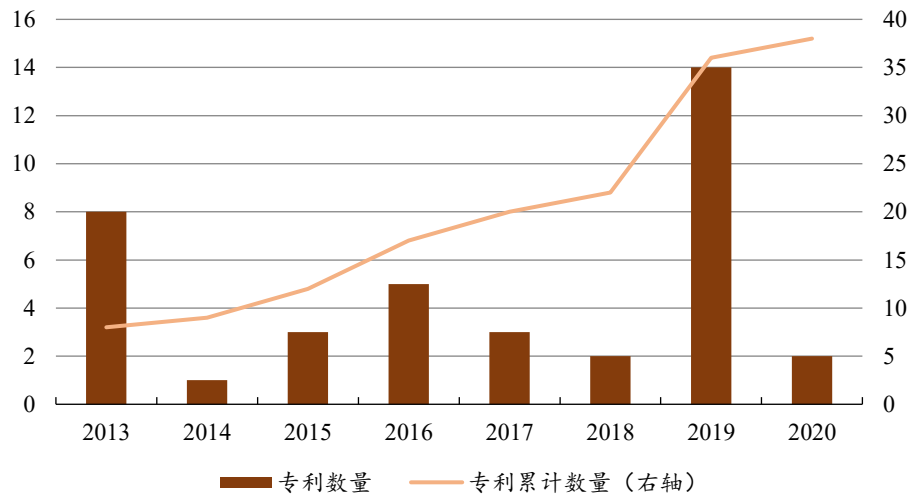
5) 乙醇：Lygos 的生物乙醇酸绕过了石化途径存在的原料和杂质问题，同时由于高性能菌株的开发，降低了制造成本，该产品可以应用于高强度、高耐热性、可生物降解的 PGA（聚乙醇酸）市场。

6) 异丁酸：Lygos 的生物异丁酸通过用高产且环保的微生物生物合成，解决了化工生产途径高污染的问题。异丁酸及其衍生物可以合成为甲基丙烯酸酯，甲基丙烯酸酯是用于汽车，建筑和电子行业的重要聚合物（例如有机玻璃）。与具有相同市场应用和规模的其他单体相比，甲基丙烯酸酯相对昂贵，这为 Lygos 的低成本，可持续生产工艺提供了取代现有路线的机会。

7) 乳酸：Lygos 的生物乳酸具有更快的生产率、更高的产量，且生产过程酸和碱用量少、纯化工艺简单，显著降低了成本。此外，Lygos 已证明可以以纯净高效的方式选择性地生产 L-乳酸和 D-乳酸。这些技术优势扩大了 Lygos 的乳酸及其衍生物在不同应用领域的市场。

公司专利较多，核心管理团队具有丰富的研发经验。公司拥有专利 38 项，涉及合成生物学、有机化学、医药等领域，公司核心管理团队如首席执行官 Eric Steen、Jason Poulos，首席技术官 Nicholas Ohler 具有丰富的生物制造项目经验。

图表 80 Lygos 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.1.10 Pivot Bio: 生物法农业肥料生产龙头

Pivot Bio 是采用生物法生产农业化肥的公司。公司于 2010 年由 Karsten Temme 和 Alvin Tamsir 创立，总部位于美国加利福尼亚州。公司始终聚焦于利用微生物固氮为玉米、小麦、高粱等植物提供养料，进而减少温室气体的排放、水污染和能源的消耗，未来公司还将扩展到磷、钾等肥料。

图表 81 Pivot Bio 核心人员简介

人员	职务	简历
Karsten Temme	首席执行官兼联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 与他的朋友和同事 Alvin Tamsir 合作创建了 Pivot Bio，专注于研究增强土壤微生物的固氮潜力
Alvin Tamsir	首席问题官和联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 将公司的研究团队从两名科学家扩大到了 50 多人，负责开发微生物菌株并管理跨学科研究团队，是监督合成生物学、计算生物学、分析化学和植物生物学方面的专家 具有合成生物学领域具有较多的期刊文章和专利。
Ernie Sanders	产品开发副总裁	<ul style="list-style-type: none"> 负责 Pivot Bio 产品的设计，开发和商业化策略 曾在孟山都工作了 37 年，在研究、技术指导和企业战略方面担任过职位，在产品发现和开发的技术管理以及国际监督和并购方面拥有丰富的经验 因在南美推出 Intacta RR2 PRO 大豆技术而获得了孟山都的最高科学荣誉“Queeny Award”
Richard Broglie	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> 领导 Pivot Bio 的研究和开发计划，并专注于获取新技术，建立了强大的知识产权组合 曾在杜邦和杜邦先锋公司担任 30 年的研究和全球领导职务，并在管理公私部门合作伙伴关系以及监督全球多作物研发计划方面拥有丰富的经验 领导了多个研发项目，这些项目使大豆和油菜籽作物能够产出更健康，更稳定的种子油；开发了大豆，玉米，小麦，大米和甘蔗的抗病虫害性状 曾获众多奖项和研究奖金，并撰写了 30 多个科学出版物，具有多项重要专利。

资料来源：Pivot Bio 官网，华安证券研究所

图表 82 Pivot Bio 融资历程

时间	事件
2014 年 10 月	从 Data Collective 和 Monsanto Growth Ventures 筹集了 75 万美元的种子轮。
2016 年 3 月	从比尔和梅琳达·盖茨基金会、Data Collective、Genoa Ventures、Monsanto Growth Ventures 和 OS Fund 筹集了 1600 万美元的 A 轮融资。
2018 年 10 月	从 Breakthrough Energy Ventures 筹集了 7000 万美元的 B 轮融资。

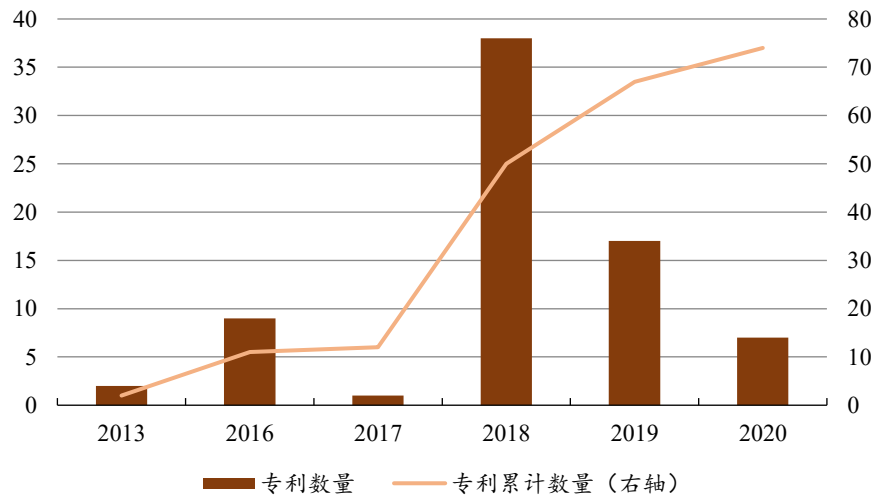
资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

公司的研发过程主要分为识别、表征和微调三步。识别是通过对土壤和上百万种微生物收集、分析，筛选出具有固氮功能的细菌。表征是通过微生物与植物进行共生，筛选出能与目标植物共生的植物。最后是对微生物进行调整编辑，主要是通过基因诱导和基因编辑的方法对微生物进行改造，改善其固氮性能。基因改造的一个方向是提升微生物的固氮能力，另一个方向是使固氮细菌能够与非豆类植物共生，最终实现微生物从植物的代谢废物和空气中固氮，为植物提供足够的肥料，不用额外施肥。

公司目前主要有两款产品，一款是用于玉米固氮的 Proven，于 2019 年上市，连续两年均销售一空，受到用户的喜爱；公司的另一款产品用于高粱固氮的 Return 也已经在 2020 投入试用，实验表明固氮细菌的增肥效果要优于合成肥料。

公司创始人是公司多数专利的发明者。公司拥有专利 75 项，涉及合成生物学、肥料制造、有机化学和农业等领域，其中有 54 项发明专利与创始人 Karsten Temme 相关，46 项专利的发明与创始人 Alvin Tamsir 相关。

图表 83 Pivot 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.1.11 Lanzatech: 碳收集行业先锋

Lanzatech 是利用污染物和二氧化碳生产燃料和化学物质的公司。公司成立于 2005 年，由 Richard Forster 和 Sean Simpson 发起设立，总部位于美国伊利诺伊州，在中国上海和印度古尔冈分别设立办事处。公司自成立以来经历了 6 轮融资，其中最近一次融资发生在 2020 年 6 月，募集资金 5000 亿美元，用于可再生航空燃料板块的拆分。

图表 84 Lanzatech 核心人员简介

人员	职务	简历
Jennifer Holmgren	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 在能源领域拥有 20 多年的经验，在燃料和化学技术的开发和商业化方面具有杰出的成就。曾任霍尼韦尔公司 UOP LLC 的可再生能源和化学业务部门副总裁兼总经理，推进 UOP 技术成为生产商业航空公司和军方用于测试和认证替代航空燃料的工具 获得了工业生物技术领导奖和企业社会创新杰出领导人奖、总统绿色化学奖、爱迪生成就奖等诸多荣誉。是普林斯顿大学安德林格能源与环境中心顾问委员会的成员，美国国家工程院的成员
Sean Simpson	首席科学官	<ul style="list-style-type: none"> 是气体发酵领域的专家，领导公司开发和规模化了气体发酵工艺技术，并建立了广泛和独特的专利组合，涵盖气体发酵的所有领域，包括发酵工艺和微生物，气体原料处理，产品和废物处理 发表了 20 多篇论文，拥有 200 多项专利
Robert Conrado	设计与开发副总裁	<ul style="list-style-type: none"> 在能源领域拥有 10 多年的经验，在燃料和化学技术的开发和规模化方面的丰富经验 曾任美国能源部高级研究计划署 - 能源 (ARPA-E) 的资深研究员，担任该职务期间，致力于在该机构内研发多个基于关于生物制造的基础研究项目 Robert 拥有十多项美国专利和期刊作品
Julie Zarraga	工程 部 副总裁	<ul style="list-style-type: none"> 拥有 30 多年的工程化经验，致力于为全球客户提供从试点到商业规模的技术解决方案，领导 LanzaTech 工程部门，负责 LanzaTech 商业部门的设计和启动 曾在 Merichem Gas Technologies 担任程技术总监，负责管理所有技术组（工程，技术和现场服务，技术销售支持，研发计划）；曾在霍尼韦尔领导了将近 20 年的商业工厂的建设、调试、启动和测试工作，并通过创新和价值工程实现了具有成本效益改进的核心技术

资料来源：Lanzatech 官网，华安证券研究所

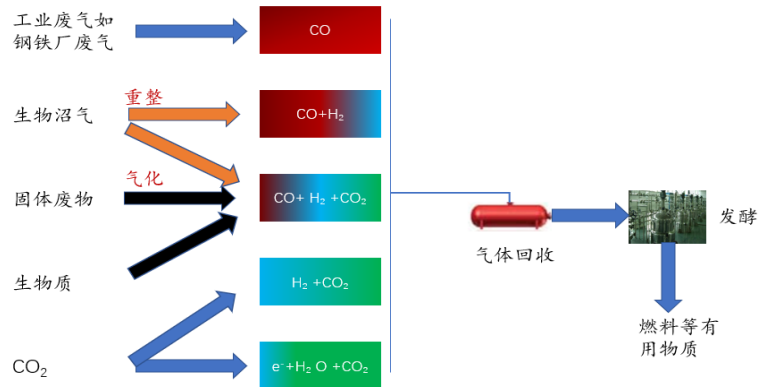
图表 85 Lanzatech 融资历程

时间	事件
2007 年 4 月	从 Khosla Ventures 筹集了 350 万美元的 A 轮融资。
2010 年 7 月	从启明创投筹集了 1800 万美元的 B 轮融资。
2013 年 11 月	从 Khosla Ventures 和 Malaysian Life Sciences Capital Fund 筹集了 5580 万美元的 C 轮融资。
2014 年 12 月	从 CICC ALPHA、K1W1、Khosla Ventures、Next47 和 Qiming Venture Partners 筹集了 1.12 亿美元的 D 轮融资。
2019 年 8 月	从 Novo Holdings 筹集了 7200 万美元的 E 轮融资。
2020 年 6 月	LanzaTech 筹集了 5000 万美元用于启动可再生航空燃料分拆。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

公司主营业务是利用工业废气、沼气、固体废物、生物质和 CO₂，通过生物发酵的方式生产燃料和化学物质。公司具备从基因工程到规模化生物制造的全产业链技术，结合计算机和自动化知识，提升了 DNA 设计、代谢预测和 DNA 验证速度。

图表 86 Lanzatech 碳收集技术流程

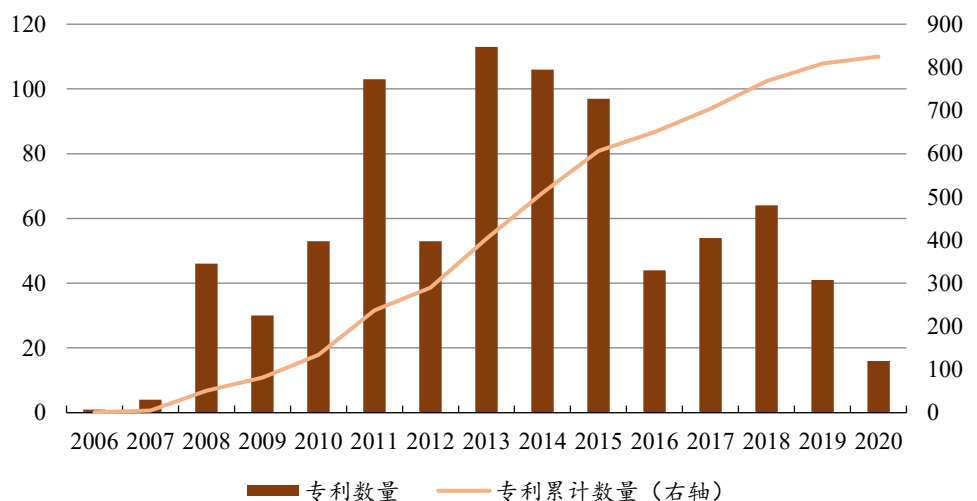


资料来源：Lanzatech 投资者平台，华安证券研究所

Lanzatech 技术已经在五个利用炼钢废气生产燃料的项目应用。第一个项目为中国首钢，自运行以来，6 个生物反应器已经连续运行超过 300 天，生产了超过 2400 万加仑的碳氢化合物。其他四个项目分别位于印度、南非、美国加利福尼亚和比利时，这些设备总共连续运营了超过 40000 小时。2020 年公司第一款碳智能 (Carbon Smart) 产品——Mibelle Potz 家居清洁系列产品在瑞士上市，该产品使用完后还可以重新回收气化再利用，实现了真正的整个产品生命周期全循环。

Lanzatech 碳收集技术先进，获得传统石化企业青睐。公司具有全球的首个碳捕捉技术，截止目前，公司在碳收集相关领域申请专利 1000 余项，已公开 800 多项。近两年，公司获得了多个传统石化企业的青睐，德国的 Suncor Energy 公司、印度炼油公司芒格洛尔炼油和石化有限公司、英国的壳牌公司、中国的中石化公司等对 Lanzatech 争相投资，公司业务迈入快速发展阶段。

图表 87 Lanzatech 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.1.12 Carbios: 塑料和纺织品酶促回收行业龙头

CarbiosSAS 是一家绿色化学公司，专注于研发与开发应用于塑料和纺织聚合物的酶促生物回收工艺。公司总部位于法国上卢瓦尔省，于 2011 年由 Jean-Claude Lumaret 创立，经过近十年的发展，成功研发出了塑料和纺织聚合物的生物酶回收方法。2012 年，公司启动了 THANPLAST 合作研发项目来进行塑料回收领域的研究，与多学术单位和企业合作，并得到了法国公共投资银行的支持。2016 年，公司共同创立合资企业 Carbiolice 来生产和销售能够降解塑料的生物酶，并将 PLA 生物降解方面的专利授予了该子公司。2019 年，公司生产了世界上第一个利用酶促生物回收的塑料生产的 PET 瓶。此后，雀巢、百事可乐等诸多公司宣布加入公司的塑料回收计划，同年公司完成了塑料和纺织废料的预处理、PET 解聚和单体纯化项目的中试，实现对塑料和纺织废料回收的技术。2021 年 9 月，公司第一个示范装置将投入使用，这也是公司产品实现产业化的标志。

图表 88 Carbios 核心人员简介

人员	职务	简历
Jean-Claude Lumaret	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 拥有化学工程学位、理学学士学位和国际知识产权研究中心(CEIPI)的证书 是欧盟内部市场协调办公室(商标和设计)的法国专利和商标代理人 在 Roquette Group 工作了近 30 年，曾担任过多个职位，包括发酵业务部门主管和商业情报部门主管；曾在 METabolic EXplorer 担任战略与创新副总裁兼管理委员会成员
Martin Stephan n	副总裁	<ul style="list-style-type: none"> 巴黎高等商学院， 于 2017 年 2 月加入 Carbios，负责监督公司的战略、业务发展和投资者关系 曾在 Elf/Total 的化学部门做研发；曾在 Du Pont de Nemours 担任法国、德国、意大利和瑞士业务部门的财务职位和主管
Robert Conrado	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> 法国国家应用科学研究所(INSA)的工程学位和生物化学工程博士 曾在担任图卢兹的 INSA 教授，并在 INSA 的 LISBP(生物系统和过程工程实验室)和 INRA(法国国家农业研究所)从事研究工作。 他的研究领域包括生物技术、生物催化、酶学、酶的分子工程、开发强化酶反应器和代谢工程 曾与先正达、艾薇儿、La toulousaine de Céréales、赛诺菲、皮尔法伯、Bioland、Mayoly Spindler、乐斯福、空中客车等公司的合作，通晓前沿研究与在工业领域实施
Jean-Claude Lumaret	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 曾在三个生命科学公司拥有 40 年的从业经历，曾在味之素集团担任首席执行官，味之素 Eurolysine 总裁，味之素欧洲副总裁兼味之素公司执行官；曾在制药集团 Roussel Uclaf, Falgoux 担任营销职务，后来成为该公司位于美国的农业兽医子公司的业务发展总监；曾在 Hoechst Roussel 集团担任高级副总裁，Hoechst Roussel Vet GmbH 的董事总经理

资料来源: Lanzatech 官网, 华安证券研究所

Carbios 自成立以来经历了多轮融资。2012 年，公司从 Truffle Capital 募集的 388 万美元的风险投资；2013 年，公司上市募集 1834 万美元；2019 年，从 BOLD 等募集 1700 万美元的投资。公司最近一轮融资发生在 2021 年 5 月，通过发行新股募资 1.39 亿美元，募集资金主要用于建设酶促技术回收 PET 的生产装置，该装置建设完成后产能约为 4 万吨。

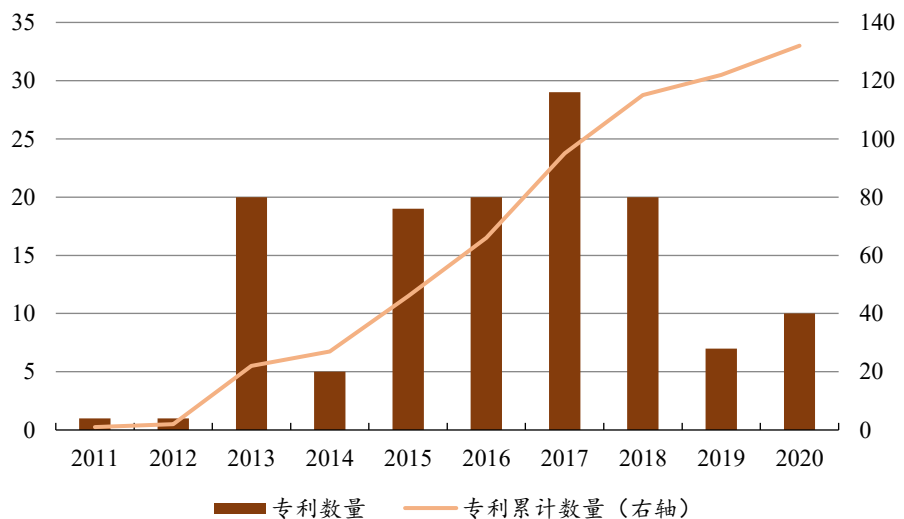
图表 89 Carbios 融资历程

时间	事件
2012 年	从 Truffle Capital 募集的 388 万美元的风险投资。
2013 年	上市并募集 1834 万美元。
2019 年	从 BOLD 等募集的 1700 万美元的风险投资。
2021 年	通过发行新股募资 1.39 亿美元

资料来源：EURONEXT，华安证券研究所

Carbios 的主营业务为酶促 PET 和纺织品的降解以及可降解塑料的生产。公司研发出了具有很好的聚合物降解活性和耐热性的生物酶，这些酶能够 100% 分解瓶子中的 PET，实现对材料的回收利用。该项目处于中试阶段，第一个示范工厂预计 2021 年 9 月份正式运营。公司还将建设酶促回收 PET 的生产线，已经完成资金的募集。此外，公司还针对其他的聚合物进行了生物酶的降解研究如聚酰胺、聚烯烃、弹性体等。Carbios 拥有专利 132 项，涉及生物菌种、生物降解、回收过程等领域。

图表 90 Carbios 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

Carbios 目前的营收模式主要有两种，一是通过知识产权许可来获得许可费或者分红收入；二是向塑料回收相关的企业、公司的关联企业销售酶实现营收。公司 2020 年收入 1346 欧元，亏损 6821 欧元，主要是因为公司的产品目前还处于中试阶段，还没有实现规模化生产，未来能否扭亏为盈取决于公司的工厂能否顺利投产。

2.2 研发服务型公司

2.2.1 弈柯莱生物科技：生物法医药健康产品研发

上海弈柯莱生物医药科技有限公司是拥有领先的酶工程技术和基因工程技术的高科技企业。公司成立于 2015 年，创始人罗煜和瞿旭东，其中罗煜为中科院有机所硕士、上海交大医学院生物化学博士，他曾于 2005 年创立科研用化合物公司 Selleckchem，该公司在 2017 年实现 2.7 亿元营业收入。瞿旭东是中科院有机所博士、MIT 博士后、武

汉大学药学院教授和博导、上海交通大学生科院教授和博导。公司自 2018 年 6 月以来，经历了从天使轮到 C 轮的四轮融资过程，最近一轮融资在 2021 年 5 月 1 日，由淡马锡领头，融资近 3 亿元。据悉，公司目前处于上市辅导期，拟申报科创板上市。公司目前有三家控股子公司，其中，弈柯莱生物科技（重庆）有限公司负责化工品的生产与制造，弈柯莱（台州）药业有限公司负责产品的生物制造，上海七洲紫岳生物科技有限公司负责产品销售与技术的推广。

图表 91 弈柯莱核心人员简介

人员	职务	简历
罗煜	董事长、总经理、创始人	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 中科院有机所硕士、上海交大医学院生物化学博士 ➢ 曾创立科研用化合物公司 Selleckchem，该公司在 2017 年实现 2.7 亿元销售额
瞿旭东	董事、创始人	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 中科院有机所博士、MIT 博士后 ➢ 曾任武汉大学药学院教授和博导，现为上海交通大学生科院教授和博导 ➢ 研究方向为天然产物碳骨架的生物合成：分子骨架的生物合成及合成生物学改造、分子骨架的生物催化、新颖天然产物的挖掘等

资料来源：Wind，华安证券研究所

图表 92 弈柯莱融资历程

时间	事件
2018 年 6 月	从弘晖资本等募集了 1 亿元人民币的天使轮融资。
2019 年 4 月	从华泰紫金、毅达资本、秉鸿资本、弘晖资本等募集了 2 亿元人民币的 A 轮融资。
2020 年 11 月	从海富产业基金、华泰紫金、小苗朗程、秉鸿资本等募集了数额未知的战略融资。
2021 年 5 月	从 Temasek 淡马锡、招银国际资本等募集了 3 亿元的 C 轮融资。

资料来源：Wind，华安证券研究所

弈柯莱主要从事生物催化和合成生物学方法的研究和开发，并致力于将其应用于规模化生产。合成生物学领域的研发有两大关键技术：酶的设计与改造，合成途径与细胞工厂的构建。在酶的设计与改造方面，弈柯莱生物拥有国内先进的酶库，在酶的筛选、改造、定向进化、发酵、固定化以及酶催化反应的规模化生产上积累了大量的经验，已建成先进的包含 20000 多种酶的酶库，涵盖了 21 类化学反应的酶库资源，能够根据催化反应需求，利用机器学习预测和筛选酶，并通过高通量筛选与测试对酶进行快速人工进化。在合成途径与细胞工厂的构建方面，弈柯莱生物已建成了包含 20+种模式菌株的完备底盘细胞库和包含 50000 多种元件的基因元件库，储备了大量优质生物工程资源，实现了在细胞内直接进行生物合成途径组装，利用基因元件驱动合成目标分子的“智能细胞工厂”构建。公司的生物工艺已经广泛应用于医药、保健品、农药等领域，为绿色化学的推广和发展做出了贡献。弈柯莱将全力打造专业的一站式酶催化技术和定制加工服务平台，并致力成为国内外领先的生物催化产品的供应商。

弈柯莱坚持“以研发为核心，以产业化为命脉”的双轮驱动发展策略，是国内少有的具备“产、学、研”全链条的合成生物学企业。弈柯莱同时是国内合成生物学产业化进程最快的企业之一，已经实现高值化学品的产业化。在研发方面，弈柯莱研发中心成立于 2013 年，位于上海市闵行区紫竹高科技园区，占地面积 2000 平方米，按功能分为 5 个部门，分子生物学、生物催化、发酵工程、化学合成以及分析。这五个部门互相配合，致力于完整生物催化工艺的开发工作。在生产制造方面，公司通过在 2016 年全资收购台州德翔，即弈柯莱（台州）药业有限公司，专门从事生产。该基地始建于

2006 年，2008 年年底投入生产，在生物催化工艺的商业化生产上积累了丰富经验。目前，公司化学生产单元方面具有 165 台反应釜（50L-5000L），酶催化生产方面具有 150m³的总发酵容量。

弈柯莱以“全体内反应”的合成生物学路线升级生物酶催化+化学合成的路线，实现多个产品的量产。目前，公司研发的产品有九种，主要涉及医药中间体和大健康及营养补充剂两个领域，其中，用于医药中间体的产品 5 项，用于大健康及营养补充剂的产品 4 项。

图表 93 弈柯莱产品梯队

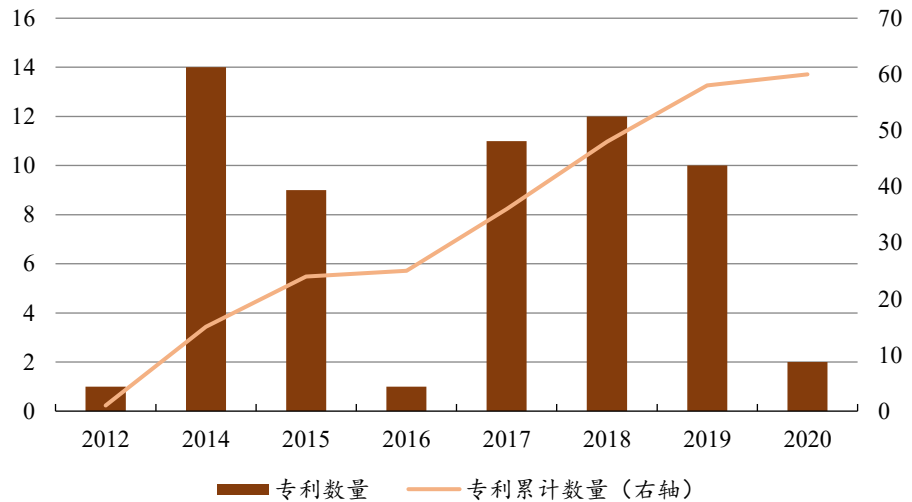
领域	产品名称	化学结构式	CAS No.	用途
医药中间体	(3R)-N-叔丁氧羰基-3-氨基-4-(2,4,5-三氟苯基)丁酸		486460-00-8	西格列汀中间体
	2,4-二氟苄胺		72235-52-0	度鲁特韦中间体
	(R)-4-丙基-二氢咪喃-2-酮		63095-51-2	布瓦西坦中间体
	(R)-3-氨基丁醇		61477-40-5	度鲁特韦中间体
	(R)-2-羟基-4-苯基丁酸乙酯		90315-82-5	普利类中间体
大健康及营养补充剂	NMN/β-烟酰胺单核苷酸		1094-61-7	营养补充剂：NAD 前体
	骨化二醇/25-羟基维生素 D3		19356-17-3	营养补充剂；活性维生素 D3 代谢产物
	抗坏血酸葡萄糖苷/Vc 葡萄糖		129499-78-1	化妆品添加剂
	NR-C1/烟酰胺核糖氯化物		23111-00-4	营养补充剂：NMN 及 NAD 前体

资料来源：弈柯莱公司官网，华安证券研究所

弈柯莱专利众多，研发团队实力强劲。公司现有授权专利 60 项，涉及生物法化合物的制备与应用，酶的制备、应用以及诱导突变，发酵装置改进等领域。公司团队领导

层均获得博士学位，且有海外留学经历，研发团队成員均有专业的教育背景，如微生物学、分子生物学、基因技术、发酵、化学分析和有机合成等。

图表 94 弈柯莱专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

2.2.2 Bota Bio: 综合生物制造研发新秀

Bota Bio 是国内头部合成生物技术平台初创公司，志在以清洁高效的生物制造方式实现日用产品和工业产品的生产。Bota 自 2019 年成立以来，经历了三轮融资，种子轮融资和 1500 美元的 A 轮融资都发生在 2020 年 9 月；2021 年 3 月，第三轮融资由巴斯夫旗下风投公司发起。此次化工第一巨头巴斯夫的投资不仅体现了生物制造行业的价值和潜力，更是对于 Bota Bio 技术实力的认可与证明。公司已逐步成为国内合成生物学领域的头部公司，并于 2020 年 11 月成功入选《麻省理工科技评论》50 家聪明公司。

Bota Bio 的核心团队均来自 Amyris、Ginkgo Bioworks、Codexis 等国际顶尖生物合成公司，具有深厚的产业背景。Bota 的首席执行官 Cheryl Cui 是哈佛-麻省理工学院生物学工程博士，曾入选 2018 年“美国福布斯医疗健康领域 30 under 30”。Cheryl 2017 年在波士顿创立了专注于生命科学领域的投资机构巢生资本 (Nest Bio)，并参与了多个公司的创建筹划和早期投资，包括 HiFiBio、Rootpath 和 Senti Biosciences。公司首席技术官 Chia-Hong Tsai 博士来自于全球顶尖生物合成公司 Amyris，曾实现多个生物基产品的产业化。麻省理工学院知名 80 后华裔教授卢冠达 (Timothy K. Lu) 也是 Bota 联合创始人之一。

图表 95 Bota Biosciences 核心人员简介

人员	职务	简历
Cheryl Cui	首席执行官	<ul style="list-style-type: none"> 曾入选 2018 年美国福布斯医疗健康 “30 under 30”、麻省理工科技评论 35 岁以下科技创新 35 人中国榜单。
Chia-Hong Tsai	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> 曾在全球顶尖生物合成公司 Amyris 担任高价值营养分子的项目负责人、天然甜味剂分子的生物学组负责人等职务，曾实现多个生物基产品的产业化 是三项专利申请的共同发明人
卢冠达	联合创始人	<ul style="list-style-type: none"> 麻省理工学院电子工程与生物工程副教授 曾参与创办多家合成生物公司，其中 Synlogic 已于纳斯达克上市

资料来源：Bota Biosciences 官网，华安证券研究所

图表 96 Bota Biosciences 融资历程

时间	事件
2020年9月	从夏尔巴投资、BV 百度风投、经纬中国等募集了 1500 万美元的 A 轮融资
2021年3月	从巴斯夫募集了金额未知的战略投资

资料来源：Wind，华安证券研究所

Bota Bio 能力圈囊括生物计算、菌株工程以及发酵工艺，覆盖了从产品研发到大规模产业化的全过程。Bota Bio 具有标准化自动化高通量实验操作平台结合生物信息计算和机器学习，搭建了酶工程、菌株工程和发酵工艺工程平台，涵盖生物催化、生物转化和生物全合成三大技术路径。Bota Bio 还开发了适用于生物技术开发和生产的云端数据库和智能化控制软件，并整合实验室中的自动化和高通量硬件设施，完整记录整个工作流程中样品和信息之间的关联，并利用该信息构建了设计-构建-测试-学习的研发过程，结合机器学习和数据分析技术，不断优化研发过程、提升研发效率。

2.2.3 Beam: 基因药物研发龙头

Beam Therapeutics 公司成立于 2017 年，是利用碱基编辑技术（可精准编辑 DNA 和 RNA 中的单个碱基对）开发精准基因药物的公司，总部位于美国马萨诸塞州，由 CRISPR 领域的顶尖科学家创办。公司于 2020 年 2 月在纳斯达克上市，其独家授权使用的启动编辑技术是一种新兴的基因编辑技术，利用逆转录酶在 CRISPR 导向的位置可以重写 DNA 短序列而不会导致双链断裂。

图表 97 Beam 公司发展历程



资料来源：Beam 公司官网，华安证券研究所

图表 98 Beam 核心人员简介

人员	职务	简历
John Evans	首席执行官	具有生物技术、交易商和药物开发商的丰富的工作经验。曾担任 ARCH Venture 合伙人、Agius Pharmaceuticals 高管、Infinity Pharmaceuticals 产品开发总监、麦肯锡高级助理等职务。在 Agius 工作过程中帮助发起并领导了 Agius 与 Celgene 的里程碑式联盟，在癌症代谢的多个研究合作中获得了超过 6 亿美元的资金和投资；还领导

		了 Agios 向罕见遗传病业务的扩展
Giuseppe Ciaramella	总裁、 首席科学官	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 曾在 Moderna, AstraZeneca, Boehringer Ingelheim, 辉瑞、Pfizer 和 Merck 等著名生命健康领域的公司工作，拥有 20 多年的药物研发经验 ➢ 为小分子和生物制剂的几种临床候选药物以及抗 HIV 药物 Maraviroc (Selzentry TM) 的研发做出了贡献，该药物于 2008 年获得了美国 Galin Prix 最佳药物奖 ➢ 美国传染病学会 (IDSA) 和美国基因治疗学会 (ASGT) 的研究员
Amy Simon	首席药物官	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 具有 20 多年的临床经验，担任学术界和生物技术行业的医师科学家 ➢ 曾在 Alnylam 任临床开发副总裁，在 Alnylam 任职期间，成功地完成了药物 GIVLAARI 从科研、临床一期到临床四期的研究
Brian Riley	首席技术官	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 在运营、质量和制造方面具有丰富的经验 ➢ 曾在 Catalent Pharma Solutions 工作了五年，最初担任 Biologics 总经理、运营副总裁，领导发展了公司的生物制剂业务，管理了五家生物制剂工厂，为该公司在北美和欧洲的药物和产品业务提供支持

资料来源：Beam 官网，华安证券研究所

图表 99 Beam 融资历程

时间	事件
2019 年 10 月	从 Obvious Ventures 筹集了 500 万美元的种子轮融资。
2021 年 2 月	从 Pace Capital 筹集了 950 万美元的 A 轮融资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

根据 FDA 的分类定义，基因治疗是通过改变患者的基因来治疗疾病的技术。基因治疗的机制有以下几种：

- (1) 将致病基因替换为健康基因的拷贝。
- (2) 将功能不正常的致病基因失活。
- (3) 引入新的或者修饰的基因到机体来帮助治疗疾病。

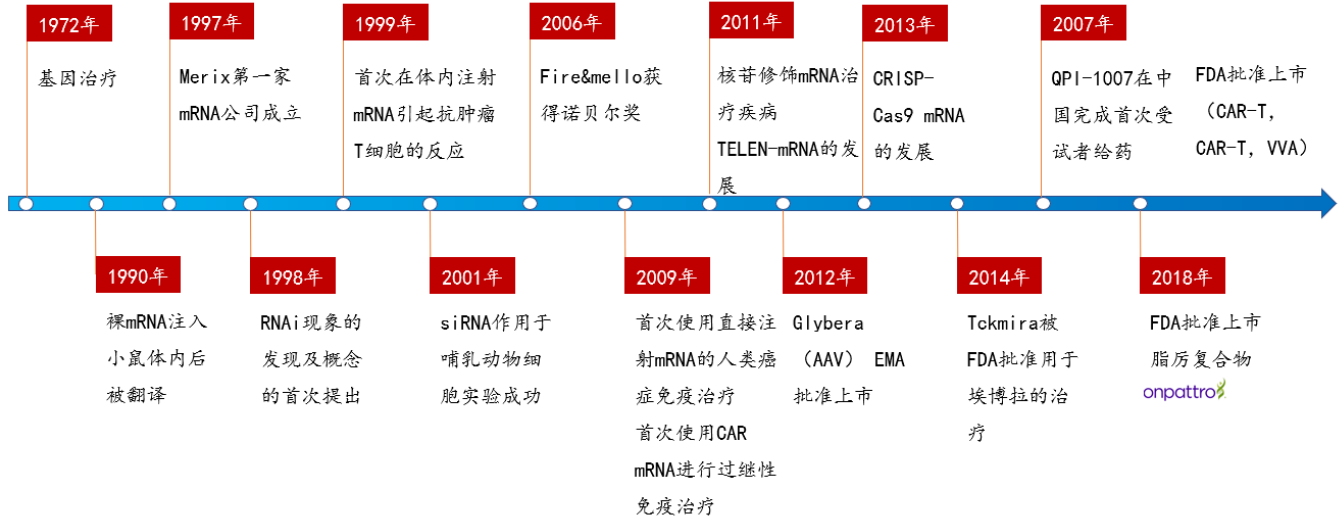
FDA 将基因治疗产品按照技术方式分为五类：

- (1) 质粒 DNA：基因工程化的、能够将治疗性基因导入人类细胞的环形 DNA 分子。
- (2) 病毒载体：病毒有将基因材料导入细胞的天然能力，因此一些基因治疗产品由病毒而来。一旦病毒经过改造去除其引发传染性疾病的能力，这些改造后的病毒就可以被用作载体 vectors (vehicles) 来将治疗性基因导入人体细胞。
- (3) 细菌载体：细菌也可以通过改造去除其引发传染性疾病的能力而被作用载体来将治疗基因导入人体组织。
- (4) 人体基因编辑技术：基因编辑的目标是破坏有害基因或者修复变异基因。
- (5) 细胞基因治疗产品：从患者提取细胞后，经过基因改造（通常使用病毒载体）后返输回患者体内。

早在 1972 年，美国著名的生物学家 Friedmann 和 Roblin 在 Science 上提出了基因治疗的概念。1989 年，世界上第一个获得授权的基因治疗研究诞生于 NIH (National Institutes of Health, 国立卫生研究院)。在这项研究中，受肿瘤浸润的淋巴细胞被收集起来，并用逆转录病毒进行遗传标记用于检查这些细胞的“肿瘤归巢”能力，这项研究为“遗传改变的人类细胞回输入病人体内后并不对人体造成伤害”提供了直接的证据。从上世纪 90 年代、本世纪 00 年代，直至目前 10 年代，正经历着基因治疗的三股热浪，分别是基于基因质粒 DNA、RNAi 和 mRNA 的基因治疗技术。直到 1999 年 9 月，由于一次失败的基因治疗临床试验，基因治疗出现了重大信任危机。自 2006 年以来，基因治疗在科研领域又取得很多进展，2012 年，欧盟的欧洲药品管理局 (European Medicines Agency, EMA) 率先批准了基因治疗产品 Glybera 上市销售，使之成为第一个在西方国家被批准的上市基因治疗产品，直至 2018 年，FDA 已批准 4 款基因治疗药物

(Kymriah®、Yescarta®、Luxturna®、Patisiran®) 上市, 这使得基因治疗有了更多的可能性和更大的应用前景。

图表 100 基因治疗技术发展



资料来源: CNKI, 华安证券研究所

基因治疗市场预期乐观, Beam 公司走在前列。根据 EvaluatePharma 和 BCG 分析, 2018、2021、2024 年全球基因治疗市场分别为 1800 万美元、28.86 亿美元、140.21 亿美元。根据德勤分析, 全球细胞和基因治疗市场 CGT 将在 2025 年达到 119.6 亿美元。市场对于基因技术普遍具有较高的预期, 具有很大的投资机会和想象空间。

公司的基因技术平台主要包括基因编辑和基因传递技术, 可以精准地修改遗传药物靶向基因组中的单个碱基, 而不会在脱氧核糖核酸或 DNA 中产生双链断裂, 最终产生精确、可预测和有效的基因改造结果。公司的碱基编辑器具有两个主要成分, CRISPR 蛋白质和碱基编辑酶 (如脱氨酶)。CRISPR 蛋白质主要作用是引导 RNA 结合, 利用其对 DNA 的靶向能力精准的找到需要编辑的 DNA 片段; 碱基编辑酶的主要作用是对碱基对进行更改实现基因编辑。其中, 基因传递技术主要有三种: 电穿孔、非病毒法和病毒传染法。电穿孔技术常用于将基因药物离体递送到血细胞和免疫细胞; 脂质纳米颗粒法 (LNP) 主要用于将基因药物体内递送到肝脏和潜在的其他器官; 病毒传染法 (AAV) 用于将基因药物体内递送给眼睛和中枢神经系统。公司基因治疗的五种主要临床用途分别为基因改正、基因修饰、基因激活、基因屏蔽、复合编辑。公司目前主要产品也是采用了这几种方式实现基因治疗目的。

图表 101 基因治疗的五种临床用途



资料来源：Beam 年报，华安证券研究所

公司目前在研产品达 12 种，但是都处于前中期的研究阶段，没有进入临床。其中针对遗传性血液病和肿瘤病研究进展较为领先，都是采用电穿孔传递的方法，目前已有两项已经进入新药研究阶段。

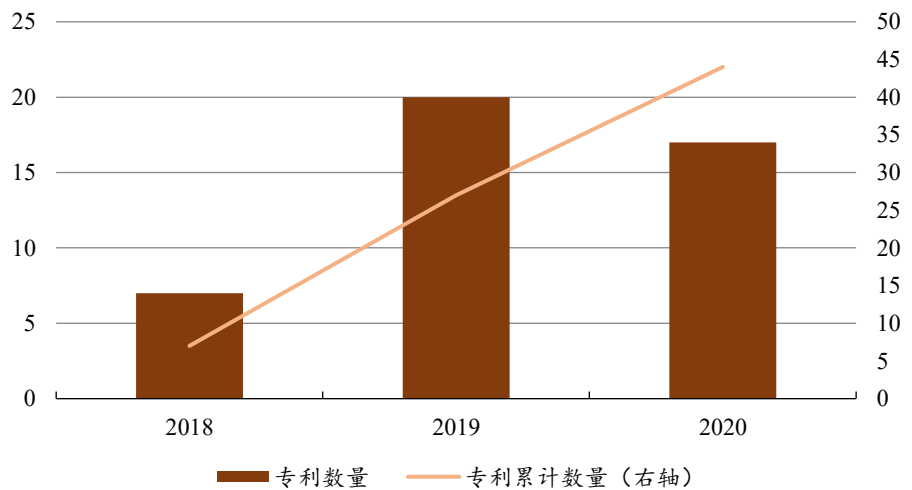
图表 102 Beam 公司产品产业化进度

传递	治疗领域	疾病	项目目标	方法	研究	先导化合物优化	研究性新药	临床
电穿孔	血液学	镰状细胞病	HPFH	多重激活	████████████████████			
			Makassar	精密校正	██████████████████			
		β-地中海贫血	HPFH	多重激活	████████████████████			
	肿瘤科	急性T淋巴细胞白血病	CAR-T	多重沉寂	██████████████████			
		急性髓细胞性白血病	CAR-T	多重沉寂	██████████████████			
非病毒性 (LNP)	肝病	α-1抗胰蛋白酶缺乏症	E342K	精密校正	██████████████			
			Q347X	精密校正	██████████████			
			RB3C	精密校正	██████████████			
		未公开	未公开	多重编辑	██████████			
病毒性 (AAV)	眼部和中枢神经系统疾病	眼底黄色斑点症	G19S1E	精密校正	██████████			
		未公开	未公开	精密校正	██████████			
		未公开	未公开	基因沉寂	██████████			
下一步	所有12个项目均由Beam Therapeutics全资拥有 LNP=脂质纳米颗粒；AAV=腺相关病毒载体 2020年在体内进行多种适应症概念验证 从2020年开始，在多种适应症中启动了新药研究 从2021年开始新药填充研究							

资料来源：Beam 招股说明书，华安证券研究所

公司拥有专利 44 项，还有许多来自与相关科研机构授权的专利。涉及领域有 C to T DNA 基础编辑器、A-to-G DNA 基础编辑器、C 到 U RNA 碱基编辑器、用于核酸酶编辑的 CRISPR/Cas12b、用于核酸酶编辑的 CRISPR/Cas12b、离体免疫细胞中的多重碱基编辑、评估基础编辑特异性的方法、基因传递方法等。公司已获得独家许可使用 primary edit 这一新兴的基因编辑技术。这项技术可以利用逆转录酶在 CRISPR 指导的位置重写 DNA 的短序列，而不会引起双链断裂，可以进行任何过渡突变（例如从 A 到 G 或从 C 到 T 的更改），目前已经用于治疗镰状细胞病。公司还与麻省理工学院和哈佛大学签署许可协议，独家许可使用某些 RNA 碱基编辑技术和 Cas12b 核酸酶技术。RNA 基础编辑技术包括用于 A-to-I 编辑的 REPAIR 系统和用于 C-to-U 编辑的 RESCUE 系统；利用 Cas12b 核酸酶技术可以创建可与基因组中不同靶位点结合的 DNA 碱基编辑器，从而进一步扩大了可编辑位点的范围。

图表 103 Beam 专利数量变化



资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

Beam 公司未实现盈利，主要因为还没有成熟产品。公司一直处于基因编辑药物的研究前沿，但基因编辑技术尚未证实可用于人体治疗，且临床研究阶段并未开始，最终产品的问世还有很高的不确定性。Beam 公司的成本投入较高，需要大量的资金投入来支持研发工作的进行。虽然公司拥有丰富的技术储备，但由于缺乏最终产品落地，暂时还没有清晰的盈利模式，公司自成立以来一直处于亏损状态，并且在可预见的未来，难以产生盈利。公司在 2019 年营收 2.4 万美元，净亏损 1.95 亿美元。公司主要的费用来自于研发费用，研发费用一直占营业费用 70% 以上。

2.2.4 Codexis：生物酶和蛋白质研发龙头

Codexis 公司是专注于发现、开发以及销售生物酶和蛋白质的公司。公司成立于 2002 年，于 2010 年在纳斯达克上市，总部位于美国加利福尼亚州，是从 Maxgen 分拆出来的公司。原公司 Maxgen 于 1997 年成立，主营蛋白质改造的研发业务，其核心技术是 DNA 改组技术。Codexis 分离出来是利用同样的技术做小分子化合物，而 Maxgen 继续做蛋白质药物，然而最终没有突破性进展，最终被其他公司收购。

图表 104 Codexis 核心人员简介

人员	职务	简历
John Nicols	首席执行官、总裁	<ul style="list-style-type: none"> 曾在高级工程专用化学品制造商 Albemarle Corporation 担任了超过 22 年的各种不同业务的领导职务，领导了公司业务最大的板块——接近十亿美元以上的全球催化剂业务的增长，扭转了陷入困境的精细化工业务，并扩大了 Albemarle 的阻燃剂业务并使之全球化
Gjalt Huisman	战略发展高级副总裁兼生物治疗学总经理	<ul style="list-style-type: none"> 在 Directed Evolution 技术的应用方面有 20 年的经验 于 1998 年加入 Codexis 的母公司 Maxygen，在各种岗位和项目中担任领导职务。2013 年，他发起了 Codexis 的生物治疗小组，该小组发现了 CDX-6114 可用于治疗 PKU 是 50 多项专利的共同发明人。
Rob Wilson	高性能酶高级副总裁兼总经理	<ul style="list-style-type: none"> 领导 Codexis 的性能酶战略业务部门，在 Codexis 的生物治疗学和性能酶业务上担任过多种职务，曾在欧洲、亚洲和美国任职 曾在 Avecia 担任了 7 年的商业技术职务，Avecia 是英国一家主要的药物中间体和 API 定制制造商
Stefan Lutz	研究部高级副总裁	<ul style="list-style-type: none"> 领导公司的研究团队进行生物制造蛋白质的研发 曾是埃默里大学化学系的教授兼系主任，并于 2014 年升任化学系系主任。除学术工作外，他还在 AgriMetis 和在 ZuvaChem, CODA Genomics Inc. 和 SynBioX Inc 等众多公司任科学顾问委员 与他人共同撰写了 65 篇以上的文章，还出版了六本技术书籍和期刊

资料来源：Codexis 官网，华安证券研究所

图表 105 Codexis 融资历程

时间	事件
2006 年 8 月	从 Chevron Technology Ventures 和 Maxygen 筹集了 3700 万美元的 D 轮融资。
2017 年 4 月	通过股票增发募集 2200 万美元。
2018 年 4 月	通过股票增发募集 3469 万美元。
2019 年 2 月	通过非公开发行募集资金 5000 万美元。
2020 年 12 月	通过股票增发募集 7500 万美元。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

Codexis 是利用计算技术推动生物学进步的先驱，公司的核心技术是 CodeEvolver 蛋白质工程技术平台，这也是公司的核心竞争力。该平台集成了生物学、酶学、微生物学、细胞工程、代谢工程、生物信息学、生物化学和高通量分析化学相关知识，且有基于人工智能的算法作为支撑，整合了高通量筛选、基因测序、有机化学和生物过程开发功能模块，可以快速挖掘与日俱增的蛋白质变体库中蛋白质结构和属性的信息，进而实现蛋白质变异的预测和定向变异，降低研发成本和研发时间。公司的 CodeRvolver 平台不仅用于公司产品研发，还通过对默克、诺华等公司技术转让许可的方式实现平台的商业化。

Codexis 主营业务主要分为性能酶和新型生物治疗两个板块。(1) 性能酶板块是目前公司最大的业务，通过商品化公司平台 CodeEvolver 蛋白质工程技术平台和小分子产品的研发实现营收。一方面，公司为客户提供研发和制造过程中所需的技术和服务；另一方面，公司还研发可用于工业市场和生命科学领域的定制酶产品，产品涉及食品、饲料、消费者护理、精细化学品、体外分子诊断、生物学研究、DNA/RNA 合成和健康监测等领域。(2) 新型生物治疗板块主要涉及发现、改善和开发生物治疗药物的候选物，公司为治疗苯丙酮酸血症与雀巢合作研发的第一款产品 CDX-6114 已经进入临床一期。此外与雀巢合作研发的用于治疗胃肠道疾病的 CDX-7108 已经进入临床早期研究，与武田合作研发的用于治疗法布里疾病的 CDX-6311 进入临床前期研究。

图表 106 Codexis 生物酶-可持续生产产品研发进度

细分市场	项目数量	研究	开发	商业化	合作商举例
制药产业	平台授权	3			葛兰素史克、诺华、默
	原料药	11			艾尔建、日本杏林制药
	第2/3阶段原料药	19			较多
	研究与早期临床	>50			较多
食品营养	天然甜味剂	2			美国恒泰食品公司
	食品饮料原料	2			未披露
生物化学产业	循环与再生材料	2			未披露
	生物材料	1			未披露
	消费者保健产品	2			未披露
	动物饲料	1			未披露

图表 107 Codexis 生物酶-生命科学产品研发进度

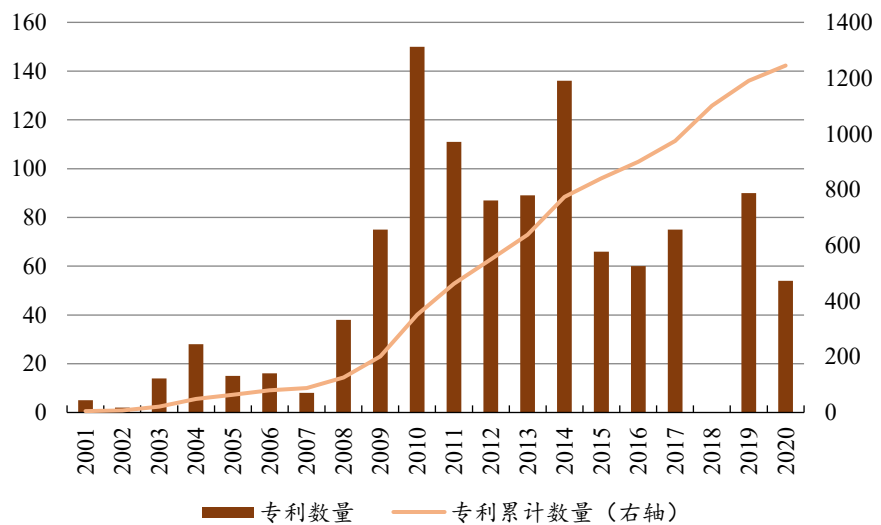
产品	研究	开发	商业化	上市方式
T4 DNA配体酶				与罗氏集团合作
Codexo HiCap DNA聚合酶				目标为多种消费者
逆转录酶				目标为多种消费者
新型产品				全资与未披露
Codexo HiCap RNA聚合酶				与美国Molecular Assemblies合作
酶促DNA合成				目标为多种消费者
新型产品				全资
血液酒精敏感酶				全资
新型生物传感器用酶				未披露
医疗器械用酶				未披露

资料来源: Codexis 年报, 华安证券研究所

资料来源: Codexis 年报, 华安证券研究所

Codexis 专利众多, 为公司业务提供了强有力的技术护城河。目前, 公司拥有已发布的或申请中的专利 120 余项, 涉及生物治疗, 分子诊断、食品和其他市场相关的业务。公司拥有的专利还包括公司于 2010 年 10 月从 Maxygen 获得的专利。这些专利主要与 Maxygen 开发的 MolecularBreeding 定向进化技术平台有关。

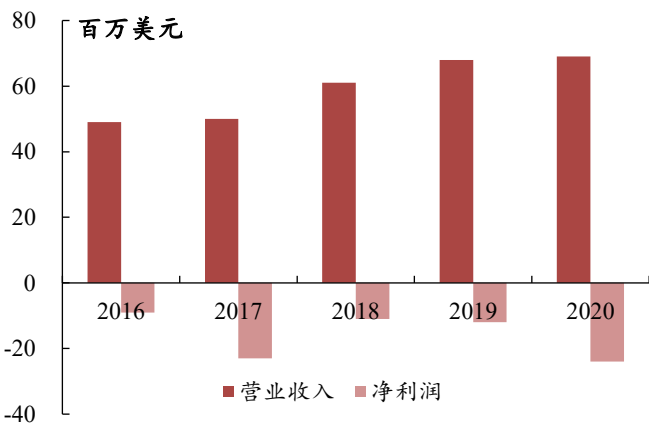
图表 108 Codexis 专利数量变化



资料来源: 国家知识产权局, 华安证券研究所

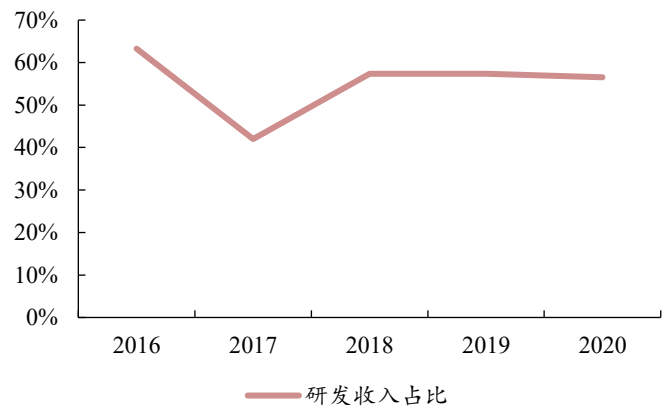
Codexis 一直处于亏损状态, 研发服务收入占比超过 50%。公司 2020 年营业收入 6905 万美元, 净亏损 2401 万美元, 公司自成立以来还没有实现盈利。自 2016 年来, 公司研发收入占比均超过 50%。公司定位是研发服务和合作产品共存的盈利模式, 但是目前公司商业化产品数量有限, 仅有甜叶菊甜味剂。

图表 109 Codexis 营收与净利



资料来源: Codexis 年报, 华安证券研究所

图表 110 Codexis 研发收入占比



资料来源: Codexis 年报, 华安证券研究所

2.2.5 Genomatica: 生物法新材料研发龙头

Genomatica 公司专注于开发商业化生物基新材料工艺, 公司成立于 1998 年。公司成立之初主要是做生物体内新陈代谢的预测、计算建模和模拟, 并开发了 SimPheny 软件平台用以完成这些工作。1998-2006 年, 公司作为研发机构开展业务, 积累了代谢和代谢建模方面的专业知识并不断优化公司的技术平台; 2007 年以来, 公司开始利用 SimPheny 平台研究生物法生产基础化学品和中间体, 并将专业范围拓展到先进实验室技术和生产过程工程领域。公司的涉及领域逐步从代谢预测建模、基因工程、先进生物技术(代谢工程和高通量筛选)拓展到过程工程(产品回收、纯化、提效)的生物制造。

图表 111 Genomatica 核心人员简介

人员	职务	简历
Christophe Schilling	首席执行官、联合创始人	是 Biocom 的名誉主席, Biocom 是加利福尼亚州生命科学领域最大的倡导组织, 并在 BIO 工业与环境部理事会任职; 还是 YPO (首席执行官的国际领导组织) 的成员, 并曾在世界经济论坛全球生物技术议程委员会任职
David Muldoon	首席运营官	在管理特种化学品和商品化学品方面拥有 30 多年的经验 曾在巴斯夫担任其北美二醇、酸和多元醇业务的副总裁; 曾担任巴斯夫北美塑料添加剂业务的副总裁; 曾担任汽巴北美水处理业务的副总裁, 汽巴高级副总裁; 还曾在瑞士巴塞尔的汽巴添加剂部门担任商业项目团队负责人三年
Nelson Barton	研究与发展高级副总裁	曾在 Verenium 公司 (以前的 Diversa 公司) 担任过多个职务, 包括研发副总裁、高级研发副总裁以及 Verenium 的生物燃料业务的研发负责人; 曾担任 Calbiochem-Novabiochem 的发酵科学家和生物研发经理
Jeff Lievens	生物工程与技术首席执行官高级顾问	曾在 Amyris 任职, 担任过程开发执行副总裁; 曾在全球食品和农业配料公司 Tate & Lyle Plc 的研发部门担任技术和工艺开发副总裁; 曾担任密歇根州生物技术研究所的研究与运营副总裁以及密歇根州生物商业孵化器总裁; 曾担任担任 Genencor International 的化学计划和路径工程总监; 曾在 Eastman Kodak Company 担任过各种工艺工程、研究科学家和产品管理负责人等职务。

资料来源: Genomatica 官网, 华安证券研究所

图表 112 Genomatica 融资历程

时间	事件
2002 年 5 月	筹集了 400 万美元的 A 轮融资。
2007 年 7 月	从 Mohr Davidow Ventures 和 Threshold Ventures 筹集了 2000 万美元的 B 轮融资。
2010 年 4 月	从 Alloy Ventures, DFJ 和 Mohr Davidow Ventures 筹集了 1500 万美元的 C 轮融资。
2012 年 8 月	从 Alloy Ventures, DFJ, Mohr Davidow Ventures, TPG Biotech, Vantage Point Capital

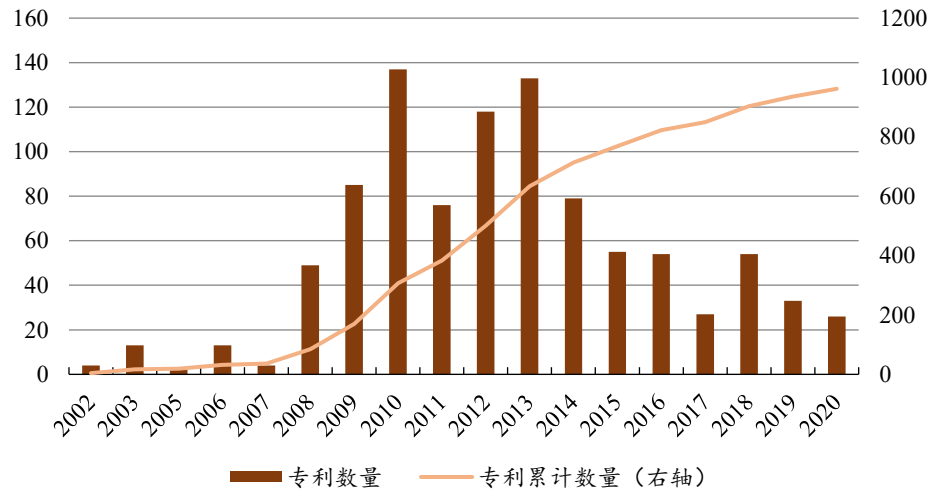
	Partners, Versalis 和 Waste Management 筹集了 1 亿美元的 D 轮融资。
2018 年 10 月	从 Gasdin Capital, Ginkgo Bioworks 和 Viking Global Investors 筹集了 9000 万美元的风险投资。

资料来源：美国证券交易委员会，华安证券研究所

Genomatica 主要业务范围包括提供研发服务和生物法制造化工品及中间体。公司定位是对现有化工法化工品的生物法替代，降低生产成本、缩短生产时间。公司目前已经实现商业化的产品有生物法 BDO (1,4-丁二醇)、Brontide BG (1,3-丁二醇)，正在研发的产品包括聚酰胺中间体、生物尼龙、长链化学品、丁二烯等。公司与世界顶级的化工公司合作，通过提供技术许可获得收益的分成，主要合作伙伴有科思创、Cargill、Novament、Aquafil、埃森克美孚、巴斯夫等。

公司重视专利布局，构筑产权壁垒。公司拥有专利 964 项，涉及生物化学、有机化学、有机高分子聚合物、测量技术等领域。

图表 113 Genomatica 专利数量变化



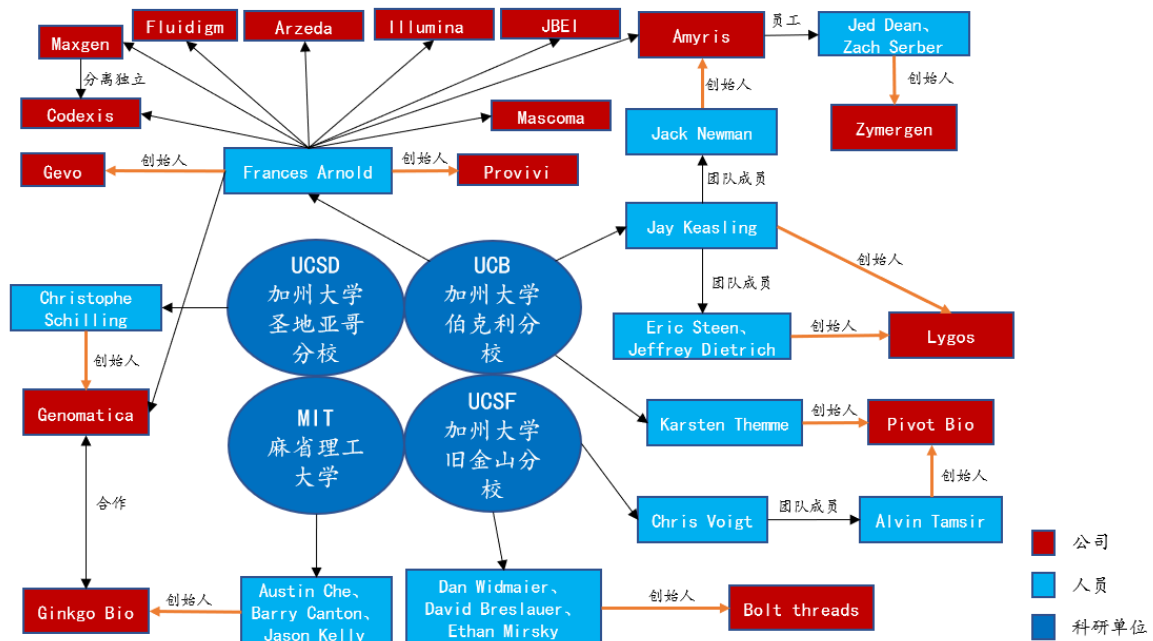
资料来源：国家知识产权局，华安证券研究所

Genomatica 在 2016 年与 Ginkgo Bioworks 成立联盟，目的是更快为量产化学品及中间体提供生物技术解决方案。该联盟通过深度合作，双向分享技术和知识产权以及联合技术开发。Ginkgo Bioworks 还将建造的下一代代工项目 Bioworks 2，该项目可以实现规模化生产，与公司强大的过程工艺互补，共同构筑技术护城河。

2.3 科研机构

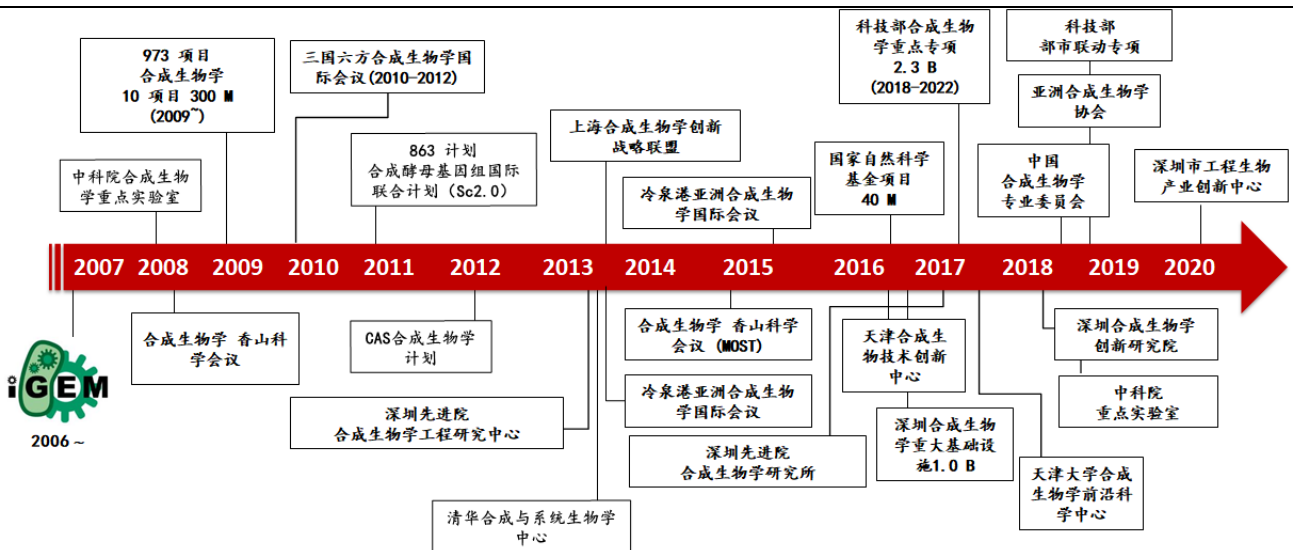
合成生物学产业作为知识密集型产业，产业的发展与科研单位密不可分。美国合成生物学公司创始人主要毕业于加州大学和麻省理工大学。国内的科研单位也在合成生物学的基础研究、产品开发、人才培养等各方面提供帮助，也是我国的合成生物学快速发展并实现产业化的基础。

图表 114 国外代表合成生物学企业、人员与科研单位关系密切



资料来源：华安证券研究所整理

图表 115 国内合成生物学科研机构发展



资料来源：CNKI，华安证券研究所

(一) 中国科学院微生物研究所

中国科学院微生物研究所成立于 1958 年 12 月 3 日，其前身是中国科学院应用真菌研究所和中国科学院北京微生物研究室，微生物所设有微生物资源前期开发国家重点实验室、真菌学国家重点实验室、植物基因组学国家重点实验室（与中国科学院遗传与发育生物学研究所共建）、中国科学院微生物生理与代谢工程重点实验室、中国科学院病原微生物与免疫学重点实验室五个重点实验室。2020 年 2 月，依托微生物所成立了中国科学院农业微生物先进技术工程实验室。同时设有微生物资源与大数据中心和技术转移

转化中心。另有依托微生物所建设中国科学院—发展中国家科学院生物技术卓越中心、中国科学院—发展中国家科学院新发突发传染病研究与交流卓越中心和中国科学院流感研究与预警中心。微生物所拥有亚洲最大的馆藏 54 万余号标本的菌物标本馆、国内最大的保藏量 8 万余株菌的中国普通微生物菌种保藏管理中心、数据资源总量超过 3PB 的国家微生物科学数据中心，是我国微生物资源与数据的核心支撑力量。研究所建有生物安全三级实验室、所级公共技术中心、SPF 动物房等技术支撑平台，拥有一个藏书（刊）5 万余册的专业性图书馆。研究所主要的研究领域为微生物资源、微生物技术、病原微生物与免疫等大类，具体方向涉及合成生物学的全产业链，并且具有专门的技术转化中心，可以实现菌种选育、菌种改造、发酵优化、提取精制和中试放大等工作。

（二）中国科学院天津工业生物技术研究所

中国科学院天津工业生物技术研究所（以下简称天津工业生物所）是由中国科学院和天津市人民政府共建、从事生物技术创新推动工业领域生态发展的科研机构，2012 年 3 月获中央机构编制委员会批准成立。天津工业生物所建有工业酶国家工程实验室、中国科学院系统微生物工程重点实验室、天津市工业生物系统与过程工程重点实验室、天津市生物催化技术工程中心等创新平台，建有高通量筛选平台、系统生物技术平台、发酵过程优化与中试平台等先进的技术装备体系，建有国家级国际科技合作基地及天津市国际科技合作基地。研究所与合成生物学相关的研究方向主要有测序技术、基因设计与调控、工业酶改造、高通量筛选技术、微生物基因组和生物催化数据库等。

（三）中国科学院深圳先进技术研究院合成生物研究所

和国际人才高地为依托，致力于发展成为科学文化传承基地、国家生命科学交叉科学优质后备人才培养中心、国际知名合成生物学和工程生物学研究中心、成果溢出中心。研究所在合成生物学领域主要有 8 个研究方向，分别为定量合成生物学、合成基因组学、合成生物化学、合成微生物组学、基因组工程与治疗、合成免疫学、材料合成生物学、细胞与基因线路。

（四）清华大学化工系

清华大学化学工程系始建于 1946 年，1998 年首批获“化学工程与技术”和“材料科学与工程”一级学科博士学位授予权，2007 年“化学工程与技术”和“材料科学与工程”率先入选国家重点一级学科，是清华大学“双一流”建设学科。在最新的国际 QS、USNews、ARWU 学科排名中分列全球第 11、第 1 和第 3，均为国内第 1。所内与合成生物学相关的研究方向有反应工程、分离工程、系统工程、生物化工等，涉及领域有能源化工、微化工过程、材料化工、工业生物催化、生态化工等。

（五）天津大学化工学院

天津大学化工学科是 1952 年院系调整时，由当时的北洋大学、南开大学、燕京大学、辅仁大学、北京大学、清华大学、河北工学院、唐山铁道学院等高校的化工系合并组成，1997 年，在原化工系的基础上成立了天津大学化工学院。天津大学化工学院秉承“坚持一流标准，培养一流人才，争创一流成果，做出一流贡献”的发展目标，“化学工程与技术”一级学科获得学科评估“四连冠”、国家级教学成果一等奖“五连冠”，“天津化学化工协同创新中心”成为全国首批 14 个“2011 协同创新中心”之一。学院与合成生物学相关的研究方向有系统生物工程、绿色合成与转化、发酵技术、生物分子与制药工程等。

(六) 上海交通生命科学技术学院

生命科学技术学院由上海交通大学与中国科学院上海分院联合于 1997 年 2 月建立。2016 年第四轮全国一级学科评估中生物学跻身第一方阵，2017 年生物学被列入“双一流”建设学科名单，生物工程一级学科博士点新获批建设，学院走出了一条具有“交大”特色的生命学科跨越式发展之路。目前，学院在 DNA 磷硫酰化修饰、精神遗传与骨骼遗传疾病、微生物抗生素合成、环境难降解污染物降解机理、肠道菌群与人体健康、水稻发育与分子生物学等研究领域达到国际先进水平。学院与合成生物学相关的研究方向有物化学与分子生物学、微生物学、遗传学、发育生物学、细胞生物学、生物信息学、生物工程等。

图表 116 各科研院所合成生物学相关的主要研究人员

单位	学者	研究方向	论文数	专利数	在研产品
中国科学院微生物研究所	高福	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 流感等囊膜病毒与宿主的相互作用 ➢ T 细胞免疫与分子识别 ➢ 新发、再发传染病 ➢ 公共卫生政策与全球健康策略的研究 	123	64	
	吴边	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 生物催化相关的元件挖掘、机理解析、酶工程改造、合成设计 ➢ 精准合成与定向修饰 	37	7	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多肽药物酶法拼装 2. β-氨基酸生物合成 3. 氮杂环类药物中间体顺次发酵
	张延平	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 微生物系统代谢工程 ➢ 合成生物技术 	117	32	

中国科学院天津工业生物技术研究所	孙际宾	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 工业微生物的系统生物学 ➢ 氨基酸工业菌株改造与创制 	87	5	
	马红武	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基因组规模代谢网络分析与代谢途径设计 ➢ 酶动力学表征与代谢途径动力学模型模拟 ➢ 系统生物学工具与软件开发 	67	12	
	田朝光	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 以丝状真菌为研究对象的蛋白质和生物基化学品发酵生产的通用底盘细胞构建 	18	20	

中国科学院深圳先进技术研究院	刘陈立	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 定量合成生物学 ➢ 连续定向进化 ➢ 合成菌的肿瘤治疗 ➢ 细菌细胞周期 	35+	75+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 抗肿瘤细菌 2. 空间噬菌体辅助连续进化系统
	戴俊彪	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 合成酵母 3.0 ➢ 基因组计划编写 ➢ 表观遗传学 	80+	19+	
	赵国屏	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 微生物大数据挖掘 ➢ 肠道菌落动态研究 ➢ 微生物细胞分裂分化过程的调控机制 	95+	110+	

清华大学化工系	陈国强	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 合成生物学 ➢ 微生物代谢工程 ➢ 生物材料 ➢ 工业生物技术 	280+	105+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生物塑料聚羟基脂肪酸酯 PHA
	李春	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 代谢工程与合成生物学 ➢ 生物催化与酶工程 	200+	10	<ol style="list-style-type: none"> 1. 植物油脂酶法脱胶 2. 甘草次酸的生物制造 3. 多重耐热酵母发酵生产乙醇 4. 植物解盐促生菌剂
	卢元	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 无细胞合成生物学 ➢ 生物大分子工程 	100+	18	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分子机器 2. 人工神经系统

		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 生物传感 ➤ 人工细胞 ➤ 微纳机器人 			<ol style="list-style-type: none"> 3. 纸质诊断 4. 人造细胞

天津大学 化工学院	元英进	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 合成生物学 ➤ 系统生物学 ➤ 生物制药 ➤ 生物能源 	200+	30+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 纤维素乙醇 2. 航空燃油生物合成
	李炳志	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 人工基因组设计与合成 ➤ DNA 信息存储 ➤ 生物质生物转化 	90+	20+	<ol style="list-style-type: none"> 1 纤维素、半纤维素和木质素的全利用技术体系
	罗云孜	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 植物及新型天然药物的生物合成与高效发酵生产 ➤ 高价值生物活性分子（包括中草药活性成分）在酵母中的高效合成 ➤ 基于 CRISPR 的微生物改造编辑技术 ➤ 改造肠道微生物，开发新型生物治疗载体 	20+	8	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生物治疗载体

上海交通大学 生命科学技术 研究院	邓子新	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DNA 硫修饰生物学 ➤ 微生物次级代谢产物的生物合成 	400+	100+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 非天然抗生素药物
	冯雁	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 微生物酶结构与作用机制 ➤ 新功能酶分子设计与进化 ➤ 微生物药物合成生物学 	200+	40+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新型酶
	白凤武	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 木质纤维素类生物质的结构解析 ➤ 高效生物转化酶制剂和微生物菌株 ➤ 基于碳资源梯级利用的生物过程工程 	135+	55+	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微生物发酵生产乙醇 2. 废糟液等厌氧消化生产沼气/生物燃气

资料来源：各科研究机构官网，知识产权平台，谷歌学术，知网，华安证券研究所

3 合成生物学是绿色制造的核心

在“碳中和”的政策背景下，以合成生物学为基础，通过生物化工生产的产品有望得到政策的倾斜，撬动合成生物学的政策杠杆：1) 原料端，生物化工主要以可再生资源作为原料，符合可持续发展的理念，并在某些产品领域缩短产业链长度，降低原材料成本占比和产品周期属性；2) 工艺端，对于某些特定的化学品，生物法大部分反应步骤均在微生物或酶的作用下进行，反应条件更温和、流程更简单，反应过程中的碳排放也更少；3) 后处理端，一方面合成生物学通过改造可以让微生物参与更多的废弃物治理，另一方面生物基材料因热塑性而方便回收利用，减少环境负担。

3.1 原料端：可再生资源作为原料

从原料端来看，生物化工主要以可再生的生物资源作为原料，符合可持续发展的理念。根据 JRC 数据，2019 年欧盟国家生物基产品的主要原料包括糖/淀粉、蔬菜及油、木材三大类，合计占比超过 98%，年用量分别为 88.6、280.2、76.4 万吨。从产品分类来看，原料以糖和淀粉为主的包括大宗化学品、塑料、增塑剂产品；原料以蔬菜及油为主的包括油漆涂料、表面活性剂、个人护理/化妆品、润滑剂；原料以木材为主的包括溶剂、胶黏剂、纤维制品。

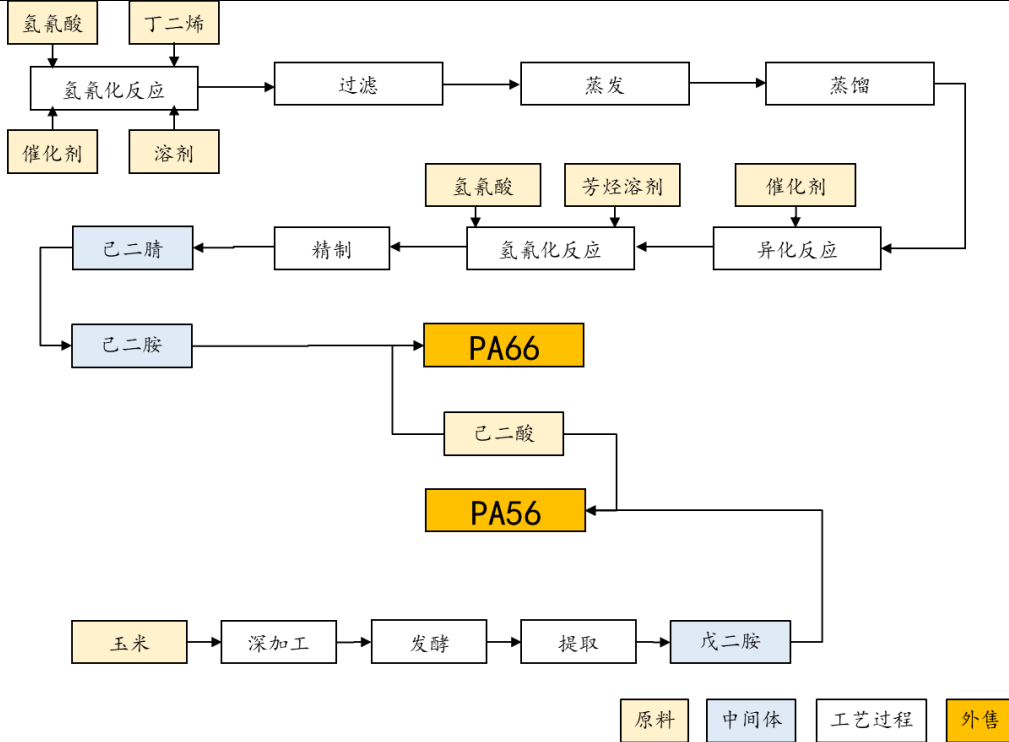
图表 117 欧盟生物基产品的总原料使用量和进口量

产品分类	原料用量(包括进口) (万吨/年)					原料进口量(万吨/年)	
	糖/淀粉	蔬菜及油	木材	其他	总量	进口量(万吨/年)	进口依赖度
大宗化学品	16.9	9.3	0	0	26.2	9.0	34%
溶剂	3.0	0	5.7	0	8.7	0.3	3%
塑料	28.4	0	0	0	28.4	2.8	10%
油漆、涂料等	0	59.3	0	0	59.3	46.8	79%
表面活性剂	28.4	146.0	0	0	174.4	117.9	68%
个人护理/化妆品	6.5	37.8	0.2	1.0	45.6	30.6	67%
胶黏剂	0	1.2	17.1	4.9	23.2	1.4	6%
润滑剂	0	18.9	0.3	0	19.2	14.9	78%
增塑剂	5.4	5.2	0	0	10.6	4.6	44%
纤维制品	0	2.4	53.2	0	55.5	1.9	3%
合计	88.6	280.2	76.4	5.9	451.1	230.2	51%

资料来源：JRC，华安证券研究所

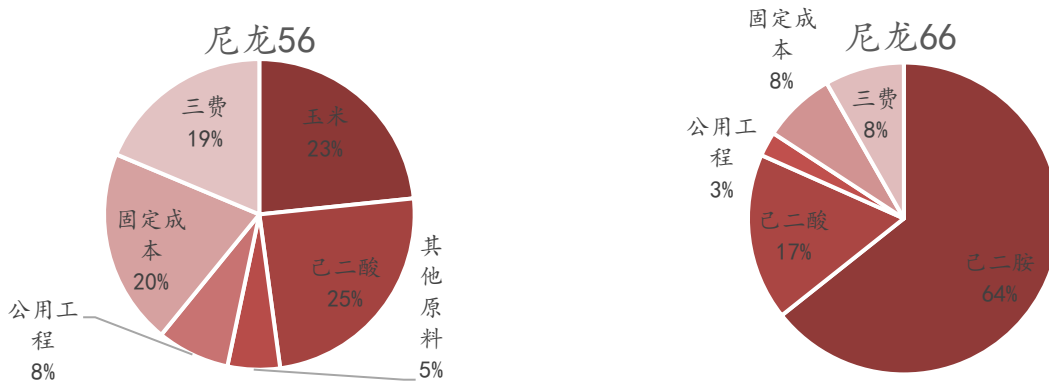
以可再生资源作为原料不仅可实现循环经济，还可以在在某些产品领域缩短产业链长度，降低原材料成本占比和产品周期属性。凯赛生物即将量产投放市场的尼龙 56 是第一种实现产业化的生物基尼龙。与性质相近的尼龙 66 相比，尼龙 56 不同的是以戊二胺作为合成单体，取代了己二胺。对比己二胺和戊二胺的合成过程，从葡萄糖到戊二胺几乎所有化学反应过程都在细胞中发生；而从原油到丁二烯，再到己二腈，最后到己二胺，需要经过多个化工单元操作，经过一系列的反应装置才能达到产物。此外，通过成本结构的分析，尼龙 56 相比尼龙 66 周期性更弱。主要由于目前国内尼龙 66 企业需要外购己二胺，导致原料成本占据完全成本的绝大部分，受原料周期性及进出口价格影响较大；而尼龙 56 玉米成本占比相对较小，减小原料成本对产品整体成本的影响。通过合成生物学的方法，不仅可以让化学品和材料的合成路径缩短，提升集约化程度，还可以减少对化工重要中间体的依赖，降低产品的周期属性，提升产品盈利稳定性。

图表 118 尼龙 56 和尼龙 66 流程对比



资料来源：环评报告，CNKI，华安证券研究所

图表 119 尼龙 56 和尼龙 66 成本结构对比



资料来源：wind，环评报告，华安证券研究所

3.2 工艺端：生物法流程更简单，碳排放更低

工艺端，生物法大部分反应步骤均在微生物或酶的作用下进行，反应条件更温和、流程更简单。对于底盘细胞代谢过程中涉及到的物质，可以通过合成生物学技术进行细胞改造，使其达到产业化要求。

丙氨酸合成领域，生物法逐步成为主流，其中以合成生物学为基础的发醇法快速发展。丙氨酸产品生产工艺历史上经过了从天然提取法、化学合成法（传统化工制造）、

酶法到发酵法的技术演变。天然提取法和化学合成法存在产品成本过高、合成路线较长和环保压力大等问题。目前利用工业生物技术生产丙氨酸系列产品的前沿工艺主要是酶法和发酵法。相比酶法，以合成生物学为基础的发酵法在原料来源、产品成本等方面更具有优势。酶法生产工艺是国际通用的 L-丙氨酸的生产技术，工艺较为成熟，但是原材料上游来自于石油化工产品，生产过程中产生大量二氧化碳化气体，并且质量转化率只有 66%。发酵法优势在于产品成本明显降低（约 50%），同时实现发酵过程二氧化碳零排放，转化率高达 99%，未来将彻底改变丙氨酸生产模式，促进企业的产业化变革。

图表 120 丙氨酸合成方法对比

项目	天然提取法	化学合成法	酶法（生物法）	发酵法（生物法） （运用合成生物学）
产量	低	高	高	高
产品成本	高	高	较高	低
核心步骤	强酸水解	化学催化	生物酶催化	微生物发酵
技术要求	低	低	高	高
工艺路线	长	长	短	短
产品质量	低	高	高	高
原材料来源	可再生	石油基	石油基	可再生
环境友好度	低	低	较高	高

资料来源：华恒生物招股说明书，华安证券研究所

维生素 E 合成领域，以合成生物学为基础的法尼烯前体合成法将是未来发展方向。维生素 E 按来源可分为天然维生素 E 和合成维生素 E，目前市场上合成维生素 E 约占全球总量的 80% 以上。维生素 E 合成技术主要包括天然提取、化学全合成、生物全合成，以及生物-化学合成（法尼烯前体合成法）等。化学全合成虽然是目前维生素 E 的主要生产方式，但该技术仍然存在合成路径复杂、技术壁垒高、成本高，生产设备大部分为专用设备，且安全风险较大等问题。随着合成生物学的发展，武汉大学联合能特科技发展有限公司将生物与化学相结合，利用微生物发酵合成的法尼烯为前体化学合成关键中间体异植物醇，然后一步合成维生素 E 的优势创新技术，该技术合成步骤少、大幅降低了易爆原料的使用，更简单、高效、安全。这也是能特科技能够在短短三年就跻身全球维生素 E 产业前列的重要原因。

图表 121 维生素 E 合成方法发展与对比

合成方法	定义	出现时间	优点	缺点
天然提取技术	从富含维生素 E 的植物油、油料作物种子等的脱臭物和馏出物中提取，提取方法主要为溶剂萃取法、超临界流体萃取法、分子蒸馏法以及离子交换吸附法等	二十世纪二十年代	与人工合成的维生素 E 相比，天然维生素 E 的吸收率、生理活性更胜一筹	产量低，不同来源的产量和成分组成差异较大，生产成本高。
化学全合成技术	以 2, 3, 5-三甲基氢醌（主环）和异植物醇（支链）两种中间体以“一步缩合法”合成	1938 年	成本低廉、产量高	对设备要求高、技术门槛高、污染性相比其他合成方法更强

生物技术合成法	以尿黑酸和植基二磷酸或犊牛儿基犊牛儿基二磷酸为原料。HGA 通过莽草酸途径合成，用于合成维生素 E 的亲水性头部，PDP 和 GGDP 来自非甲羟戊酸途径，用于合成维生素 E 的疏水性尾部	1979 年	研发前景广阔	直接通过生物技术获取维生素 E 的方式相比化学全合成，产量低、成本高，并不适合进行规模化生产
法尼烯前体合成法 (运用合成生物学)	将生物与化学相结合，利用微生物发酵合成的法尼烯为前体化学合成关键中间体异植物醇，然后一步合成维生素 E 的优势创新技术	2013 年	合成步骤少、大幅降低了易爆原料的使用，更简单、高效、安全	

资料来源：CNKI，《合成生物学》，华安证券研究所

维生素 C 合成领域，微生物发酵法已成为主流。维生素 C 的生产工艺方法具体的发展过程可以分为三个阶段：浓缩提取法、化学合成法和微生物发酵法。相比浓缩提取法和化学合成法，微生物发酵法生产维生素 C 的收率更高，而且实现了对莱氏法繁多工业步骤的突破，生产条件温和，得到广泛应用。

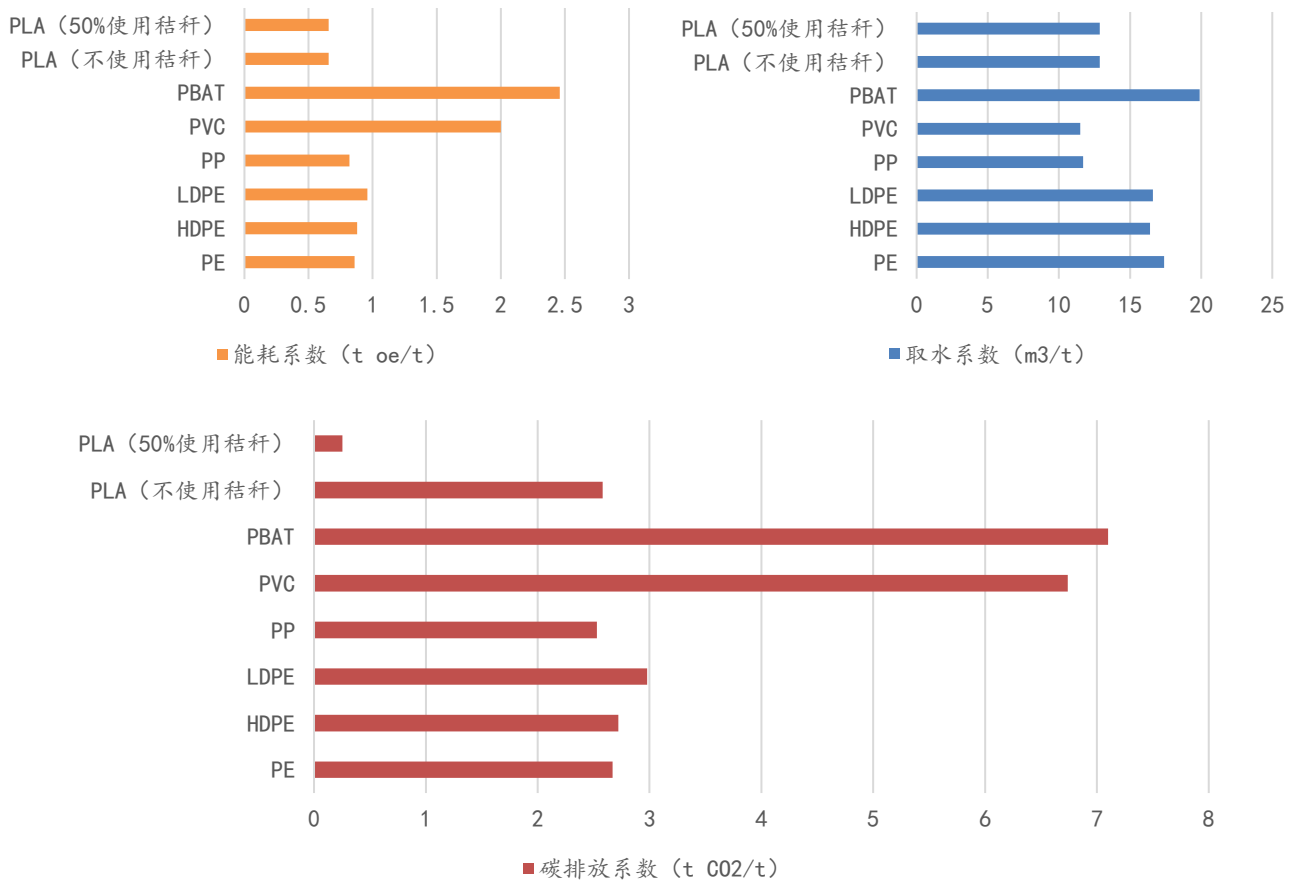
图表 122 维生素 C 合成方法发展与对比

合成方法	定义	出现时间	优点	缺点
浓缩提取法	利用富含维生素 C 的柠檬、辣椒等植物为基础材料通过浓缩提炼成为口服维生素 C 产品	二十世纪二三十年代	简单	成本高、产量低，已退出历史舞台
化学合成法 (莱氏法)	以葡萄糖为原料，经催化加氢制取 D-山梨醇，然后用醋酸菌发酵生成 L-山梨糖，再经酮化和化学氧化，水解得到 2-酮基-L-古洛糖酸 (2-KLG)，再经盐酸酸化得到维生素 C	1937 年	质量好，回收率高，原材料廉价易得，中间物化学性质稳定	工序繁多、劳动强度大，生产过程中废气废水易造成环境污染 (已取得一定程度改良)
微生物发酵法 (运用合成生物学)	以葡萄糖催化加氢制得 D 山梨糖醇，再发酵生成山梨糖后，再经二步细菌氧化，直接生成 2-酮基-L-古龙酸，最后内酯化、烯醇化制得维生素 C	二十世纪七十年代	收率更高，实现了对莱氏法繁多工业步骤的突破，生产条件温和	生产过程中依然有三废污染

资料来源：CNKI，《化工管理》，华安证券研究所

此外，利用合成生物学的方法还可以显著减少工艺过程中的碳排放。以具体的产品为例，凯赛生物以生物法生产每单位重量的新型聚酰胺 PA56 能分别较传统化工法生产的同类产品尼龙 PA66、PA6 减少碳排放 50%、56%；每千克以玉米为原料的聚乳酸 (PLA) 制品碳排放量为 0.25kg (50%使用秸秆) 或 2.58kg (不使用秸秆)，使用秸秆的情况下远低于不易降解的石油基塑料 PET (2.15kg)、PVC (6.74kg)、PE (2.67kg)、PP (2.53kg)，同时也远低于可降解的石油基塑料 PBAT (7.1kg)。据《中国塑料的环境足迹评估》报告，从 1950 年到 2015 年，人类累积制造了 83 亿吨的广义塑料，其中，纤维塑料 10 亿吨，日常所说的塑料 73 亿吨。加上 2016-2019 年的全球塑料产量，估计到 2019 年底全球塑料累积消费量已超过 100 亿吨。目前，塑料生产和使用的碳排放占全球碳排放的 3.8%，按目前的发展模式，到 2050 年全球塑料生产和使用的碳排放可能占全球碳预算总额的 15%。优化塑料产品结构，推广生物法塑料对非生物法塑料的替代，将有助于减少生产过程中的碳排放，降低塑料碳排在碳排放结构中的占比。

图表 123 不同种类塑料能耗系数、碳排放系数、取水系数



资料来源：《中国塑料的环境足迹评估》，华安证券研究所

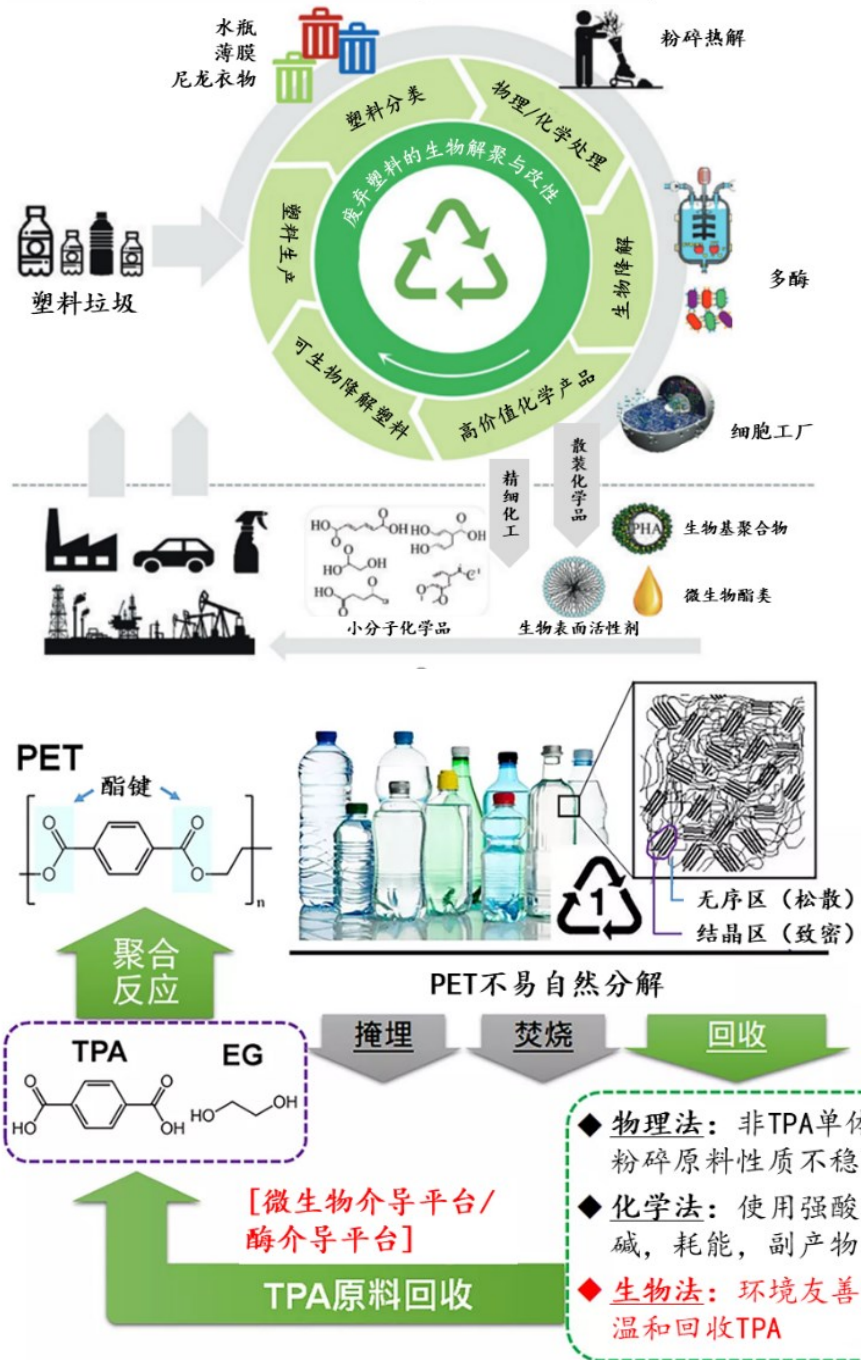
3.3 后处理端：治理与再利用并行

后处理端，一方面合成生物学通过改造可以让微生物参与更多的废弃物治理，另一方面生物基材料因热塑性而方便回收利用，减少环境负担。

合成生物学可以在废弃塑料治理领域发挥作用。石油基合成塑料因高分子量、高疏水性及高化学键能等特性难以被生物降解，在环境中不断累积，由此导致的“白色污染”已经成为一个全球性环境问题。为解决这一问题，开发绿色高效的废塑料资源回收利用技术，从源头解决塑料污染，成为发展塑料循环经济的关键。利用微生物/酶将塑料降解为寡聚体或单体，或进一步转化为高值化学品，因反应条件温和、不产生二次污染等优点将成为废塑料污染治理与资源化的新途径。目前，在PET等聚酯型塑料的酶法解聚已经有了重要突破。CARBIOS公司宣布将在法国化学谷建设PET塑料酶法回收的工业示范工程，建立从PET废弃物降解到单体利用的完整工业链，预计年处理能力在5万吨到10万吨之间。除了PET可以通过合成生物学的手段解聚以外，水解型塑料PU和非水解型塑料PE、PS都已研发出对应的解聚酶。基于合成生物学的生物解聚技术将是实现废弃塑料资源循环利用的有效途径。然而，废塑料生物降解过程中仍存在降解元件匮乏、降解效率低、降解物难以利用等技术瓶颈。随着合成生物学的快速发展，利用高通量筛选、进化代谢、生物信息学等先进的生物技术，解析降解关键酶的催化机制、定向设计与改造降解酶、研究混菌体系中菌株间互利共生关系与适配机制、设计并构建不同

塑料降解物的代谢通路成为废塑料生物降解研究的重点方向。

图表 124 合成生物学在废弃塑料处理中的应用



资料来源:《合成生物学》, 华安证券研究所

生物基塑料为热塑性材料, 容易回收, 部分易降解。随着环保意识的提高, 易回收可降解的可塑性材料需求增速不断提高。据 Mordor Intelligence 数据, 2021 到 2026 年, 全球热塑性塑料年复合增长率为 6% 以上。在风电叶片、汽车轻量化等领域, 可塑性材料正逐步替代传统的热固性材料和金属材料。生物基塑料作为热塑性材料, 不仅从来源上更加绿色可持续, 也将从可塑性材料快速发展中获益。

图表 125 热固性和热塑性材料比较

	热固性材料	热塑性材料
定义	热固性塑料指具有加热后固化并且不可溶解，不融化特性的塑料	热塑性材料指在一定的温度条件下，塑料能软化或熔融成任意形状，冷却后形状不变；这种状态可多次反复而始终具有可塑性，且这种反复只是一种物理变化。
原理	成型前为链状结构，固化后分子链之间形成化学键，成为三度的网状结构，属于化学变化	链状结构，过程中分子链间无化学键产生，属于物理变化
特性	第一次加热可以使其软化流动，加热到一定温度，产生交联固化变硬，该变化不可逆。固化后的塑料不溶于溶剂，也不能再加热软化，温度过高时分解。	加热时变软以至流动，冷却变硬，过程可逆，可以反复进行
可回收性	冷却、使用后通常不容易回收	易回收，通过切碎、熔融造粒、重新注射成型或模压成型为新的部件
可降解性	冷却、使用后通常不容易分解	市场流行的部分热塑性材料聚合物产品可通过生物、光降解
代表材料	酚醛树脂（汽车刹车片、航天材料）、三聚氰胺甲醛树脂 MF（日用品）、不饱和聚酯 UP（飞机部件、建材管道）、有机硅树脂（绝缘材料、防水涂料）	聚乙烯 PE（薄膜、包装材料）、聚丙烯 PP（无纺布、家用电器等）、聚氯乙烯 PVC（塑料门窗、建材管道）、聚苯乙烯 PS（建筑建材、食品包装）、丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 ABS（汽车工业、仪表零件）、聚酰胺 PA（汽车工业、纺织服装）、聚对苯二甲酸丁二醇酯 PBT（电子电器）、聚碳酸酯 PC（玻璃装配）、聚甲醛 POM（汽车工业）、聚苯醚 PPO（电子电器）、特殊塑料（医用材料）

资料来源：CNKI，华安证券研究所

4 合成生物学机遇和挑战并存

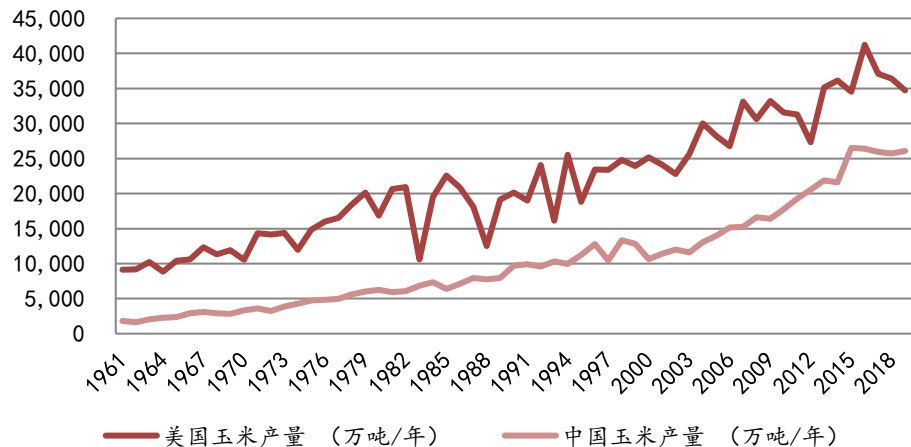
我们认为，合成生物学是化学合成的一种补充生产方式，而不是替代关系。合成生物学不能构成完整的产业链。通常合成生物学更适宜生产小分子，因为大分子不宜和细胞质、营养液等相似分子量的物质分离。如果进一步生产聚合物或者改性仍需要精度更高的化学合成方法实施。完整的产业链包括基因工程、菌种培育、发酵过程、分离纯化、改性合成、开发应用这6个环节。

合成生物学是人类生产工业品的新手段，在巨大的机遇面前，也要正视潜在的风险和挑战。尤其是涉及基因改造、生物循环等相对传统化工更加未知的领域。我们认为，合成生物学成为未来制造的主要补充手段可能还存在以下挑战：1) 原料来源有待拓展 2) 基础分子不明确、3) 市场推广与标准建立、4) 生物安全与伦理、5) 对公司综合能力要求高等问题。

4.1 原料来源有待拓展

合成生物学产业化发展需要减少对粮食作物的依赖，拓展原料来源。目前，合成生物学采用的原料主要还是以玉米为主的粮食作物，但随着产业化发展，粮食耗用量也会成倍增加，粮食安全将成为制约合成生物学大规模生产化学品的阻碍。以使用最广泛的玉米为例，中国人均玉米产量仅有 0.186 吨/年，远不及美国的 1.06 吨/年，大规模采用玉米作为合成生物学原料，会加剧“与粮争地、与人争粮”的问题。因此，采用秸秆等非粮作物作为原料是我国合成生物学发展必须解决的问题。

图表 126 中美玉米产量对比



资料来源：wind，华安证券研究所

从全球来看，生物废料足以替代化石原料。包括木本和草本类的植物，非洲、拉丁美洲、亚洲的能源作物的资源量大约为 70EJ/年，中国每年可以生产 8 亿吨的作物秸秆，相当于农田生物量的 70%或 4.5 亿吨的煤炭；中国还有每年 40 亿吨的禽兽粪便及大量的有机废物，这相当于 5 亿吨的煤炭没有利用；中国有一亿多公顷的不宜垦农田（稍少于现有的耕地面积），可种植高抗逆性能原植物，生产出的植物利用后相当于 6 亿吨的燃油。

我国农业生物质资源丰富，秸秆作为主要的可再生农业废弃物，是有可能替代玉米作为合成生物学的原料来源。从储量而言，我国秸秆储量可达 7 亿吨/年，远高于玉米年产量。从原料价格而言，玉米的购买价格约为 2000-2200 元/吨，秸秆的回收价格

约为 300-500 元/吨，其价格更为低廉。从化学组成而言，玉米主要是由淀粉（多糖）组成，秸秆主要由纤维素（多糖）、半纤维素（多糖）和木质素（苯基类丙烷等聚合物）组成。高效经济地转化秸秆，是有可能令其替代玉米作为合成生物学的原料的主要来源。此外，以河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏等为代表的地方出台了秸秆综合利用方案与禁止焚烧政策，采用奖惩并行的方式来禁止秸秆的焚烧，通过政策鼓励扶持秸秆综合利用、以乡镇、村、企业或经纪人为主体建设秸秆收储站，并对秸秆农机、秸秆三贮一化利用、秸秆综合利用能源化、收储中心建设等提供补助，也为秸秆的利用的推进提供了动力。

图表 127 各地禁止秸秆焚烧



资料来源：华安证券研究所整理

在合成生物学中，往往需要先将原料转化为糖平台，再进一步转化为其他高附加值产品。与玉米相比，秸秆的转化过程更为困难。由于玉米的化学组成相对简单，仅通过淀粉酶即可快速转化为单糖，几乎不用进行复杂的预处理技术。而秸秆是由纤维素、半纤维素、木质素等相互交织形成的结构复杂的功能超分子体，其致密的抗降解屏障使得其难以经济降解转化为单糖进行利用。在秸秆转化为糖平台的过程中，预处理技术一直被认为是打破木质纤维素原料天然致密空间屏障，促进酶与纤维素、半纤维素可及性的重要手段。有效的预处理技术往往决定秸秆后续利用的难易程度，是实现其产业化的关键和难点。通过有效的预处理工艺，促进秸秆的高效转化，是令秸秆成为合成生物学的原料必不可少的过程。凯赛生物在秸秆为原料生产化学品上已取得阶段性研发成果，2021 年底有望完成 1 万吨秸秆制乳酸的中试项目。如果项目进展顺利，意味着利用合成生物学制备化学品将完全打开原料端的限制，并有望拓展到其他化学品的制造。

图表 128 玉米与秸秆可利用性对比

原料名称	主要化学成分	纤维结构	结构特性	堆积密度 (吨/立方米)	价格 (元/吨)	转化难易 程度
玉米	淀粉 (55-70%) 水 (10-20%) 油脂 (3%-8%)	胚乳细胞 糊粉层细胞 胚乳传递细胞 胚旁细胞	种皮、胚和胚乳 结构分明	0.6-0.8	2000-2200	较易
秸秆	纤维素 (30-40%) 半纤维素 (15%- 20%) 木质素 (30%-40%)	纤维细胞 薄壁细胞 表皮细胞	纤维素、半纤维 素和木质素相互 交织, 难以分离	< 0.2	300-500	较难

资料来源: CNKI, 华安证券研究所

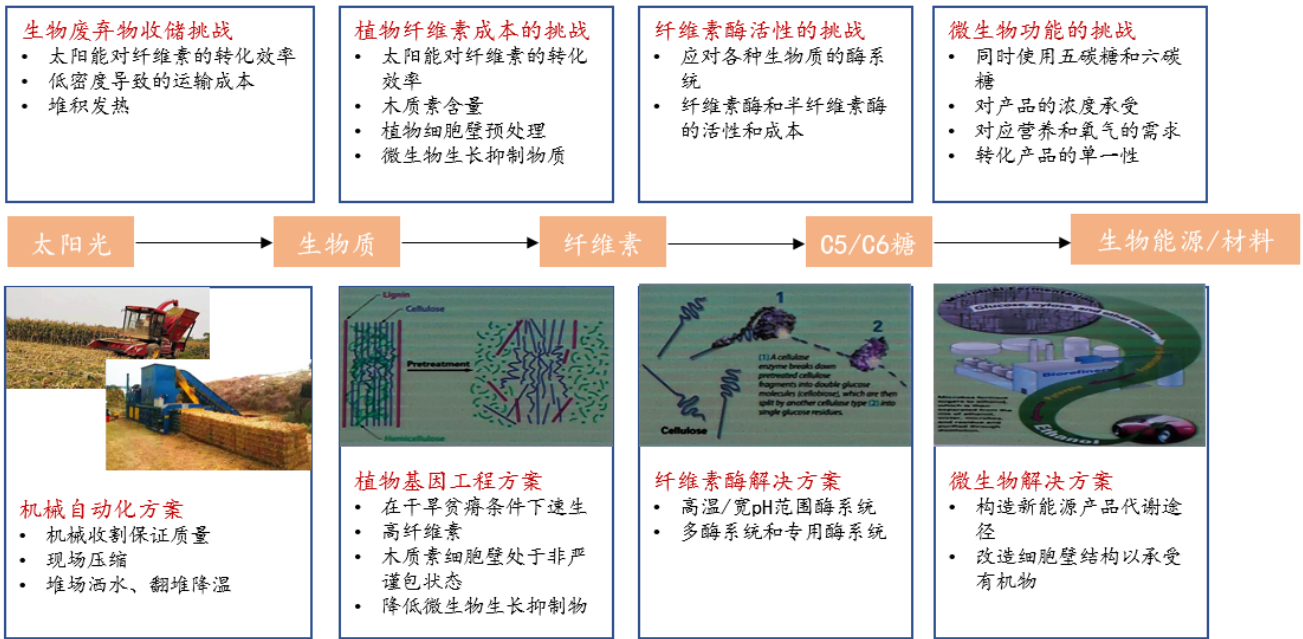
图表 129 秸秆预处理方法比较

方法	举例	优点	缺点
物理法	机械粉碎	改变天然纤维素结构、增加比表面积, 提高反应可及性	能耗高、原料一般需要经过前处理
	超声波粉碎	破坏细胞壁微观结构	成本高、难以放大
化学法	酸处理	破坏半纤维素、形成多孔结构; 反应条件剧烈, 反应时间短	污水处理成本高; 破坏木质素活性
	碱处理	有效脱除木质素, 提高后续转化效率; 反应条件剧烈, 反应时间短	污水处理成本高; 破坏木质素活性
	溶剂处理 (离子液体)	高效、定向溶解纤维素	离子液体成本极高, 毒性强
物理-化学方法	蒸汽爆破	形成疏松多孔结构, 提高反应可及性, 过程绿色	难以连续化操作
	湿氧化法	纤维素纯度较高, 后续转化效率高	成本高
生物方法	白腐菌等微生物	专一性极强、具有较高脱木质素能力、过程绿色	反应缓慢、效率低

资料来源: CNKI, 华安证券研究所

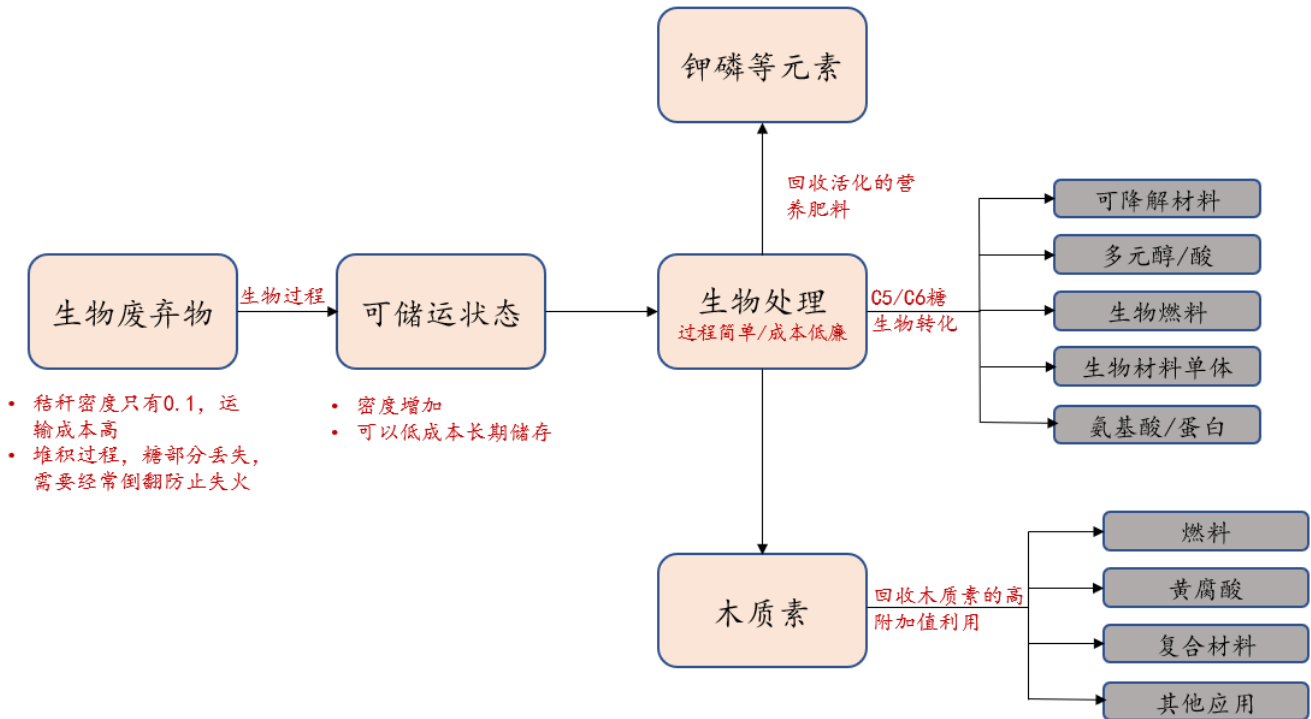
综合方案可以实现生物废弃物的最大化利用。未来从秸秆等生物废弃物中提取的五碳糖和六碳糖的下游应用场景进一步扩大, 用以生产可降解材料、多元醇/酸、生物燃料、生物材料单体、氨基酸/蛋白等物质, 从而实现以生物废弃物为原料的生物制造方案, 此外针对在这个过程中产生的木质素和钾磷等元素进行充分的回收再利用, 回收的钾磷元素用作营养肥料, 回收的木质素用于具有高附加值的燃料、黄腐酸、复合材料用途, 实现生物废弃物近乎百分之百的综合利用方案。

图表 130 生物废弃物原料替代技术路径



资料来源：国际生物基产业论坛，华安证券研究所

图表 131 生物废弃物综合利用方案

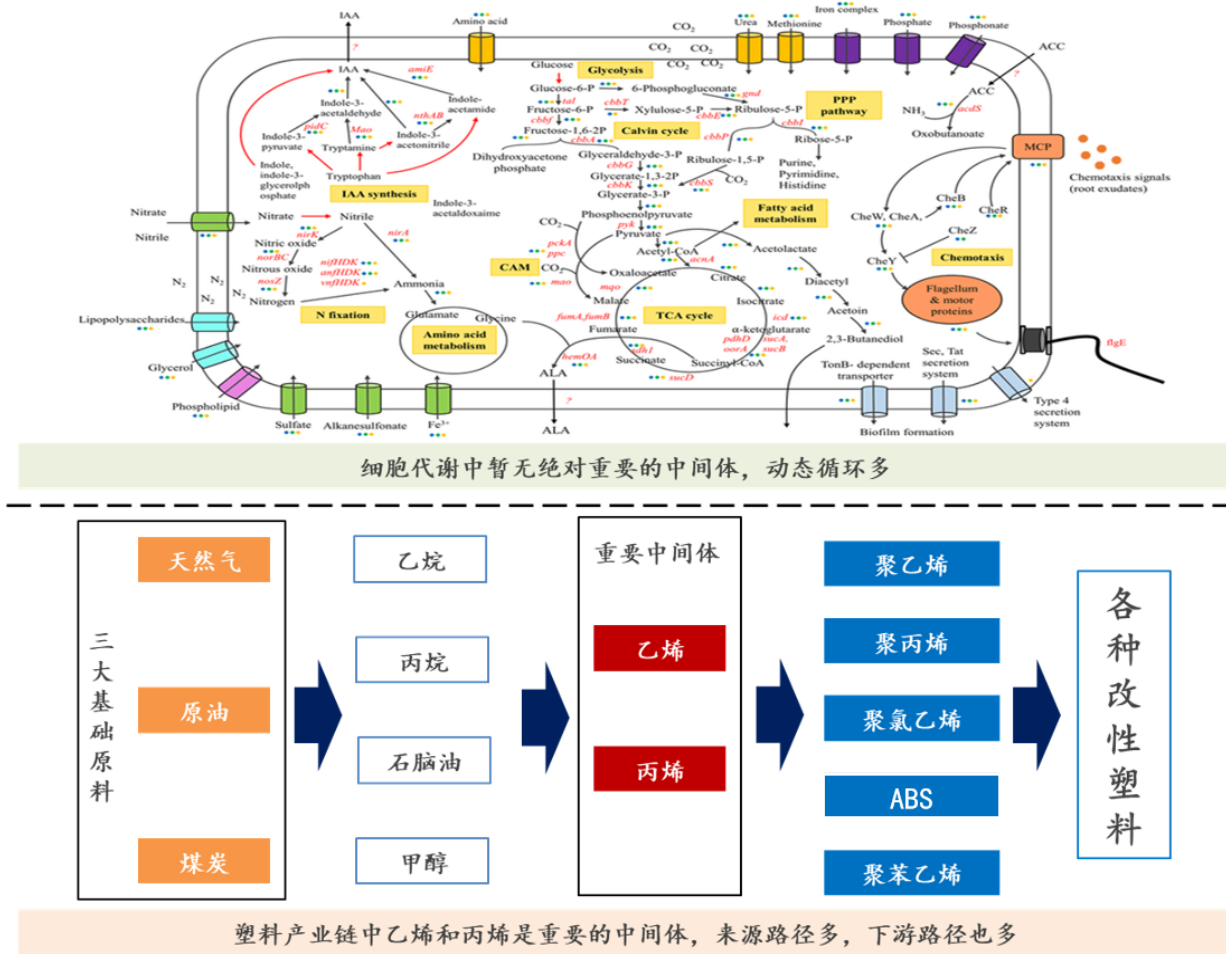


资料来源：国际生物基产业论坛，华安证券研究所

4.2 基础分子不明确

对于现阶段的合成生物学来说，暂时还没有十分明确的基础分子，即代谢过程中上下游代谢途径都十分丰富的中间体分子。对于传统化工而言，乙烯和丙烯就是非常好的基础分子，上游可以通过石油、煤炭、天然气等途径制备，下游也可以制备聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等数量众多的产品。如果合成生物学的生产找到了如乙烯、丙烯这样的基础分子，即可成为合成生物学模块化中至关重要的一环，围绕这一中间体即可以较低的成本大量开发下游应用产品，拓展合成生物学的应用边界。

图表 132 细胞体内代谢循环与塑料产业链对比



资料来源：《Nature》，华安证券研究所

4.3 市场推广与标准建立

合成生物学产业化起步阶段，由于产品生产方式发生改变甚至生产的为新物质，在投放市场的过程中需要面临市场推广和标准建立的问题。

合成生物学很多产品与传统化工产品存在替代关系，打入现有市场，建立相关的标准建体系尤为关键。合成生物学产品相关标准和规范的建立，有利于产品推广和下游认证，方便客户使用。传统化工行业从 19 世纪开始便大规模应用，经历 100 多年的发展，已经形成了完善的标准体系。截止 2010 年，我国化工行业现行标准达到 5351 项，其中国家标准 2832 项，行业标准 2519 项。行业标准的建立不仅保障了生产规范和安全，同时使行业竞争更有序，降低下游企业的使用成本。因此，合成生物学产业化推广的过

程中，对生产过程、新产品特性等建立行业标准是大规模推广的必要条件。

4.4 生物安全与伦理

随着应用合成生物技术的产品的大量应用，经过基因编辑的菌种有可能出现在自然环境中参与生物循环，有可能产生生物安全与伦理方面的问题。

在生态环境领域，合成生物学经通过一下途径影响环境：（1）合成有机体的生理机能方面的不同将会影响周围的自然环境；（2）从实验室意外泄漏的合成微生物可能在一段时间后适应周围环境；（3）新的合成物种将比其他自然物种更快的进化和适应环境，迅速填充新的生态圈；（4）合成生物体进入新的自然环境后将会为自然界增添新的 DNA 从而影响多样性，可能会对人类健康或自然界中的生物造成不良的影响。

在社会经济领域，合成生物学的出现虽然对社会经济有着很大的贡献，但有经济的地方就会有竞争，从而引起安全风险，比如：产品商业化后的滥用，生物恐怖主义会用新的合成药物对社会安全构成威胁、生物黑客的出现等。

在伦理方面，合成生物学的广泛应用可能会忽视生命的价值，挑战自然进化。如果未来生命是可在实验室中合成、批量生产的，那么“自然的”生命“价值”可能会降低，并且可能会降低人们对生命的尊重，从而违背了“尊重生命”这一基本的生命伦理原则。将生命视为“工业产物”或“商品”。合成生物学中的生物进化不是自然选择的自我发展过程，而是人类的自我进化创造的过程。例如，将已经灭绝的物种复活，人类按照自己的喜好复活出特定物种，那么就会营造出一种反映人类价值观和评判标准的人工“精选”环境结构，而不是自然选择。

在生产安全方面，在发酵罐内作业容易导致安全事故。虽然合成生物学中的核心反应步骤——发酵的反应条件较为温和，但是由于是在有限空间作业，加上看似温和的反应条件导致安全意识放松，也容易导致生产安全事故。有限空间是指封闭或者部分封闭，与外界相对隔离，出入口较为狭窄的空间，该空间自然通风不良，易造成有毒有害、易燃易爆物质积聚或者氧含量不足，作业人员不能长时间在内工作。规范有限空间作业是规避生物化工生产事故的重要一环。

我国《生物安全法》出台为生物制造带来发展机遇。2020年10月17日，《中华人民共和国生物安全法》出台，旨在防范和应对生物安全风险，保障人民生命健康，维护国家安全。通过立法防范生物安全风险，可以为生物制造发展构建更好的法律环境，并指引前沿生物技术创新。

图表 133 基因编辑婴儿事件



资料来源：华安证券研究所整理

图表 134 发酵罐有限空间作业导致的安全事故

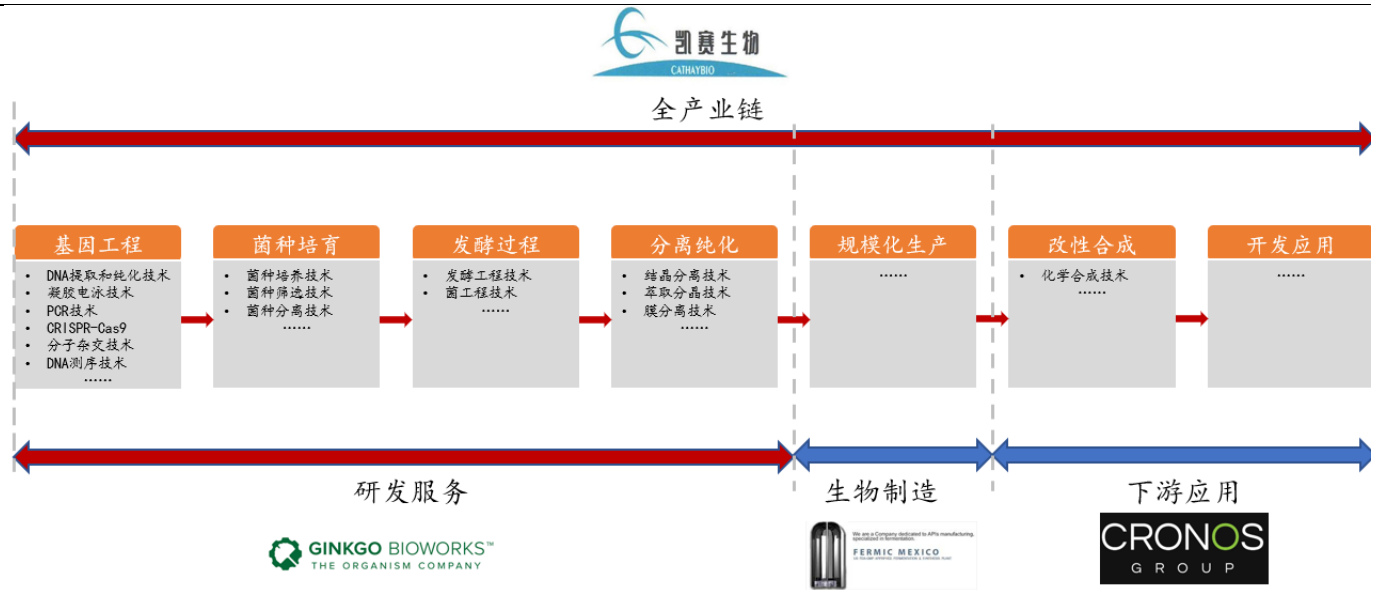


资料来源：华安证券研究所整理

4.5 对公司综合能力要求高

以合成生物学为基础的生物化工全产业链是从基因编辑到产品投放市场，涉及流程和学科都比较多，包括生物学、生物信息学、计算机科学、化学、材料学等。生物化工行业是智力密集型行业，一个全产业链的生物化工公司需要在合成生物学、细胞工程、生物化工、高分子材料与工程等学科领域均设有经验丰富的研发和技术团队，这对于公司的综合研发能力、管理能力都有比较高的要求。规模化生产与下游应用的拓展往往是现在生物化工企业所面临的最大的瓶颈，Amyris 跌落神坛也是因为规模化生产不及预期，而许多新兴的公司如 Ginkgo 直接放弃了规模化生产和下游应用拓展环节，反而减小了企业失败的风险，获得了更高的估值，而国内凯赛生物布局全产业链，不仅实现了规模化生产还自己去拓展应用场景，无疑在生物化工领域走在了世界的最前列。

图表 135 以凯赛生物和 Ginkgo 为例的合成生物学企业布局



资料来源：华安证券研究所整理

5 风险提示

产业化进程不及预期的风险；菌种及配方泄露的风险；法律诉讼的风险；生物安全的风险；道德伦理的风险；下游认证不及预期的风险。

分析师与研究助理简介

分析师：刘万鹏，德克萨斯大学奥斯汀分校机械硕士，主要从事生物半导体、生物机械领域研究，共发表 10 篇国际论文，引用数超 600 次，申请 5 项国家发明专利；天津大学化工学士；2 年央企战略规划经验，5 年化工卖方研究经验；2019 年“金麒麟”化工行业新锐分析师第一名；2019 年“新财富”化工行业团队入围。

联系人：曾祥钊，中国科学院化工硕士、清华大学化工学士。

王鹏，天津大学化工硕士、应用化学学士，4 年能源化工央企工作经历，多次担任项目投资评估及市场研究负责人。

邓承佯，清华大学材料学士、材料加工硕士，2 年中航工业洪都飞机设计经历，2 年五道口金融学院行研经历，已发表 30 余篇材料类文章，拥有 20 余项专利。

王强峰，浙江大学化工硕士、中国石油大学（北京）化工学士，2 年中化国际战略、市场经验，近 1 年化工卖方研究经验。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，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。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 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；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。