

2024 易凯资本中国健康产业白皮书

合成生物学篇

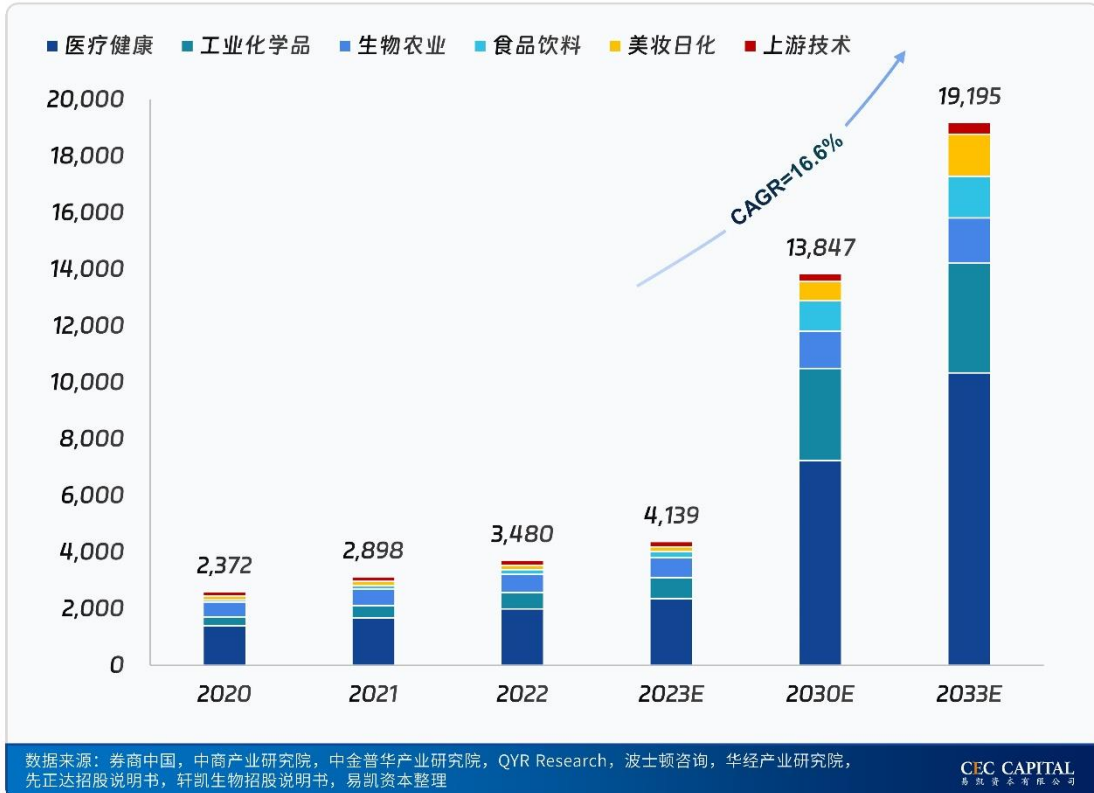
2024.04

1. 根据易凯资本测算中国生物制造市场 2023 年接近 4200 亿，未来十年保持接近 17% 高速增长。

根据合成生物学主要的六大应用赛道的市场规模试算，中国 2020 年、2021、2022 年生物制造市场总规模分别为 2372.4 亿元、2898.4 亿元以及 3479.4 亿元。根据公开数据以及合理的假设，我们预测生物制造市场在中国 2023 年的整体规模不低于 4139.2 亿元，2020-2023 年期间的复合增长率经测算接近 20%。在医疗健康、工业化学品、生物农业、食品饮料、美妆日化以及上游技术六大应用场景中，以 2023 年为例，医疗健康仍是生物制造产业目前最大的细分市场，生物制造产业在医疗健康场景的规模达到 2360.8 亿元。2033 年，中国的生物制造市场将达到近 2 万亿元。其 2023 年至 2033 年期间的复合增长率为 16.6%，市场将处于黄金高速发展期。

2033 年生物制造产业市场约 2 万亿人民币

单位：亿元人民币



市场规模计算中，我们主要关注医疗健康、工业化学品、生物农业、食品饮料、美妆日化以及上游技术中主要的和生物制造相关的应用方向。以医疗健康赛道为例，我们计算了与生物制造相关的生物制药与医用材料的市场规模。以下表格是各细分赛道的拆解明细：

2023 年，生物制造产业在医疗健康场景的规模达到 2360.8 亿元；另外，工业化学品场景的规模达到 741.6 亿元，生物农业场景的规模达到 702.8 亿元，食品饮料场景的规模达到 212.9 亿元，美妆日化场景达到 50.9 亿元，上游技术场景达到 70.2 亿元。

中国生物制造细分赛道市场规模测算

单位：亿元人民币

	2020	2021	2022	2023E	2030E	2033E	CAGR
医疗健康	1,400	1,681	1,999	2,361	7,243	10,343	15.9%
生物制药	1,216	1,458	1,734	2,048	6,479	9,323	14.9%
医用材料	184	222	265	313	764	1,020	12.5%
工业化学品	311	440	583	742	3,252	3,874	18.0%
生物农业	531	584	642	703	1,317	1,596	8.6%
生物植保剂	57	71	85	101	291	378	14.1%
生物营养剂	65	84	105	127	348	464	13.9%
生物肥料	409	429	452	475	679	755	4.7%
食品饮料	68	111	159	213	1,075	1,477	21.4%
食品添加剂	27	54	87	123	693	910	22.1%
蛋白质-氨基酸	46	57	73	90	382	567	20.3%
美妆日化	23	35	39	51	682	1,486	40.1%
生物活性原料	23	35	39	51	682	1,486	40.1%
上游技术	39	47	58	70	278	419	19.6%
总计	2,372	2,898	3,479	4,139	13,847	19,195	16.6%

数据来源：券商中国，中商产业研究院，中金普华产业研究院，QYR Research，波士顿咨询，华经产业研究院，先正达招股说明书，轩凯生物招股说明书，易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

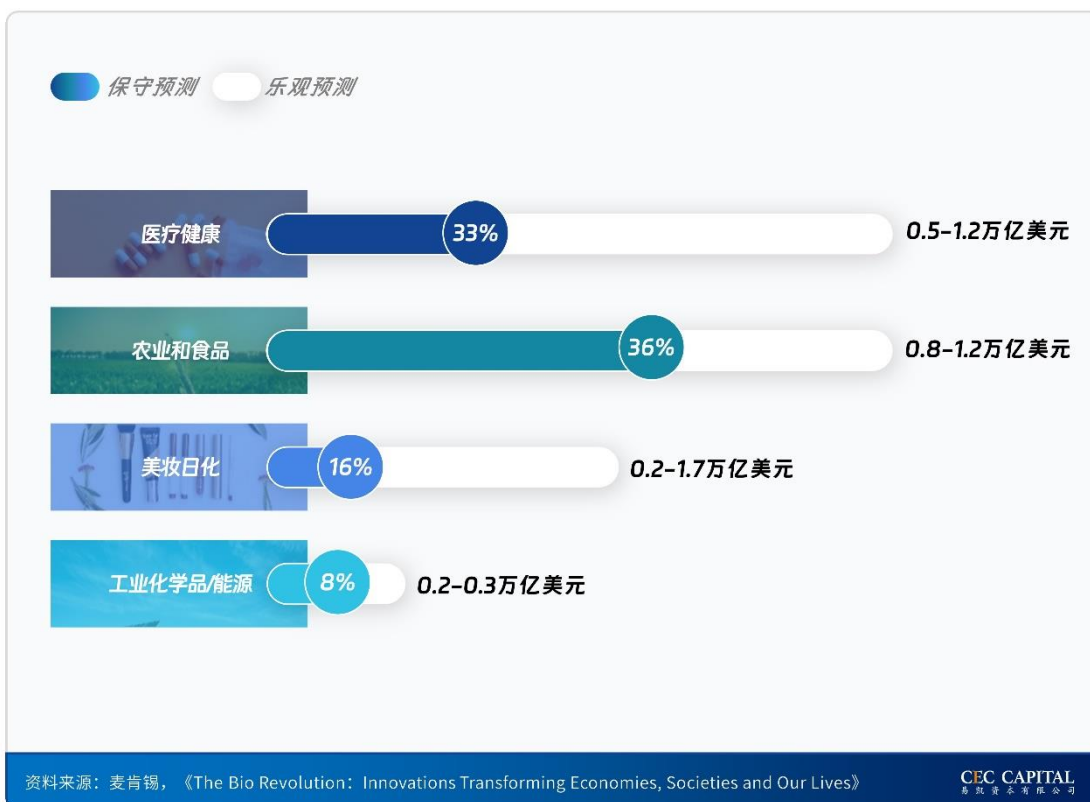
目前生物制造产业正处于创新成长期，合成生物技术颠覆了传统行业发展逻辑。其下游应用为传统行业带来了替代乃至颠覆，全面实现生物制造产业升级。在政策和技术的双重驱动下，相关市场行业整体爆发式增长，合成生物技术已从基础研究全面转入到生物制造产业发展快车道。

2. 未来十年，生物制造将对全球经济每年产生超过2万亿美元的直接经济影响。

生物制造距离发展为成熟的产业体系还有很长一段路要走，但是生物制造具备重要且显著的经济价值，理论上约全球60%的物质在未来可通过生物制造方式实现生产。根据麦肯锡2020年发布的合成生物学报告《The Bio Revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives》指出，预计未来10年，有400余个应用场景可被生物技术迭代或替代，这些应用可能对全球经济每年产生超过2万亿美元的直接经济影响。其中主要影响的四大赛道分别是医疗健康、农业和食品、医美日化以及工业化学品/能源行业。

未来10年，生物制造将对多个领域产生深远影响

单位：万亿美元，百分比



核心观点

1. 2023年，是“生物制造”产业化元年，以合成生物技术为核心的生物制造企业在中国已经迎来了商业化驱动的第二波浪潮。

从2019-2022年“生物合成万物”的第一波浪潮到2023年，合成生物学已从“技术”发展成为生物制造“产业”。生物制造产业正迎来商业化驱动的第二波浪潮。具备领先技术与量产能力的创新型企业蓬勃发展。在相关政策的保驾护航下，产业化先行者将率先迈入产品规模化和营收增长的黄金发展期。

2. “生物制造”是国家纲领性产业，国央企、地方政府、知名高校、国有基金“举大旗”推动“生物制造”产业发展。

国家队入局、地方政府牵头、上市公司/龙头企业参与等形式相结合。以特定区域优势为基础，联动发展的模式已在全国形成地方性产业集群。2023年，全国更多的区域在寻求自身在“生物制造”产业中的优势定位。

3. 国有资本引领下，一级市场交易目的和形式越发多样化，退出方式越发多元化。

人民币及政府引导基金在未来3-5年将主导一级市场大部分初创企业的融资交易。生物制造企业融资与退出也将更具备中国特色，“拥抱国家大战略”“与招商引资相结合”和“老股退出”等形式也将成为主要交易方式。

4. “跨”（跨国企业）、“大”（大企业集团）、“上”（上市公司）们与生物制造产业的结合比以往更紧密。

部分有充足现金流的各传统行业巨头率先转型，寻求跟上时代的发展浪潮。作为“跨大上”们所追求的新的增长曲线，相关产业巨头的投资、并购将会在2024年加速推动生物制造产业整合以及产业生态的规模化进程。

5. 上市受阻的生物制造准上市企业面临重组再发展或转让出售的重要抉择。

伴随着2023年IPO持续收紧的大背景，部分企业在闯关失败或暂缓登陆资本市场后站在了发展的十字路口。如何通过收并购进行业务升级整合或者进行财务良性化调整择机登陆二级市场，将会是企业发展的关键决策。

6. 合成生物学领域的BIO-AI浪潮即将袭来，AI技术的突破性进展进一步加快了生物制造产业革新的步伐。

随着AI技术、数据科学和自动化技术的发展，Bio-AI模型大幅提升了生物制造产业全流

CEC CAPITAL

易凯资本有限公司

程的效率。高质量、多维度数据库和样本库的积累逐渐成为产业竞争的关键，数据科学与合成生物技术的结合运用对于生物制造行业在 2-5 年的短期阶段是“锦上添花”，长期赋能需要依赖“干”-数据库和“湿”-样本库的标准化。

一、2023 年发生了什么

(一) 2023 年，是“生物制造”产业化元年，以合成生物技术为核心的生物制造企业在中国已经迎来了商业化驱动的第二波浪潮。

1. “合成生物”逐渐被“生物制造”提法替代，从“技术”逐渐转变为“产业”。医疗健康、工业化学品、农业和食品、医美及日化等行业赛道划分正在被“生物制造”重构

迈入 2023 年，合成生物学已从技术突破阶段，走向实际应用，其通过生物制造的方式重构传统产业，形成全新的生物制造产业，为现有市场、用户提供更贴合政策、市场和用户的产品。全面从技术研究转型成为产业应用，“生物制造”的提法逐渐替代“合成生物学”，也强有力表达了合成生物学应用的愿景是发展新质生产力，即创新起主导作用，摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径，具有高科技、高效能、高质量特征，符合新发展理念的先进生产力质态，通过生物合成方式去制造传统产品或者开发出全新的产品。生物制造被认为具有引领“第四次工业革命”的潜力，是世界各国竞争的热点。2023 年以来，中国也明确的将生物制造列为重点发展的战略性新兴产业。从国家到各省市，多地陆续出台推动生物制造产业发展的配套政策，产业进入黄金发展期。

生物制造不仅是提升新质生产力的重要手段之一，其同样能够满足企业的 ESG 需求，为经济的绿色可持续发展提供坚实基础。我国是全球工业大国，有超过万亿立方米、仅次于美国位居全球第二的工业尾气量。通过工业尾气发酵生产乙醇和饲料蛋白，可以在摆脱传统发酵方式对粮食作物的过度依赖之外，大幅提高尾气利用的经济效益和能源利用率，例如首钢郎泽在国内实现了工业尾气的生物法利用，目前已建成年产生物乙醇 21 万吨，饲料蛋白 2.5 万吨。除工业尾气外，中国每年产生超千吨的废弃油脂也是潜在的新一代碳源，重塑生物发酵产业链。此外，国内还有大量农林废弃物，这些废料中的大部分非常适合用生物技术加以利用。

可以观察到的是，2023 年诸如上述提到的生物制造的生产新方式正在多个行业涌现。在生物制造赋能下，传统行业将会被推动快速升级。

2. 大量资金涌入将推动“生物制造”产业带动相关企业高速发展，有产业基础或与产业龙头合作的企业将率先迈入产品规模化和营收增长的黄金发展期

在此前 2019-2022 年技术驱动的合成生物学的第一波浪潮中，行业内“玩家”曾面临定位在“产品型”还是“平台型”的选择。随着产业的发展及对商业模式的探索，越来越多的企业开始将自身的定位锚定在产品上。产业界、资本市场也越发青睐具有竞争力的产品品类，以及企业是否规模化生产能力。这类公司在当前阶段更容易形成商业闭环，以及与产业龙头形成合作。易凯资本认为，生物制造产业已完成初期的商业模式探索，“产品为王”的时代已经来临。

合成生物学在技术突破、产业应用、外部环境等方面，依然面临着诸多挑战，需要产学研各界携手共同应对。规模化生产（指企业能够按照固定模式进行大批量的生产，不同应用领域产品大批量的定义可能存在规模量级差距）是生物制造产品实现商业化的路径。生产规模放大是生物制造产品是否能够实现产业化的关键环节，是生物制造企业必须跨越的关键门槛，因此如何解决工艺放大过程中的各种不稳定因素将成为关键。在工业级量产过程中，仍面临如目标产率不稳定、噬菌体污染、裂解纯化步骤繁琐及各个环节的成本不可控等问题。我们认为，当前已经拥有工业级量产能力，选品“需求导向”且拥有差异化技术壁垒的企业将会领跑当前的

商业化浪潮。

(二)“生物制造”是国家纲领性产业，国央企、地方政府、知名高校、国有基金“举大旗”推动“生物制造”产业发展

1. 国家政策和地方政策纷纷出台，生物制造产业当前处于政策红利期

2022年5月，我国正式发布《“十四五”生物经济发展规划》，提出推动生物技术和信息技术融合创新，加快发展生物医药、生物育种、生物材料、生物能源等产业，顺应“追求产能产效”转向“坚持生态优先”的新趋势，发展面向绿色低碳的生物质替代应用。在《“十四五”生物经济发展规划》中，国家明确提出了合成生物学作为关键技术创新领域。紧随其后，习近平总书记在党的二十大报告中提出：“树立大食物观”，并强调“发展生物科技、生物产业，向植物动物微生物要热量、要蛋白”。

2023年12月，习近平总书记出席中央经济工作会议并发表重要讲话，会议提到，要以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力。要大力推进新型工业化，发展数字经济，加快推动人工智能发展。打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业，开辟量子、生命科学等未来产业新赛道，广泛应用数智技术、绿色技术，加快传统产业转型升级。

2024年3月，十四届全国人大二次会议在北京开幕，新质生产力写入今年的政府工作报告，并被列为2024年十大工作任务的首位。其中，在积极培育新兴产业和未来产业方面，政府工作报告明确，要加快创新药等产业发展，积极打造生物制造等新增长引擎。生物经济已成为国家未来发展规划的重要战略组成部分。

可以观察到的是，无论是国家发展的纲领指导意见还是涉及国计民生的粮食策略，生物制造整体转型已经成为中国未来发展的必经之路。在国家大力支持的大背景下，中央及区域陆续出台生物制造产业相关政策，各地生物制造产业迎来了发展的黄金时段。

2023年生物制造相关政策（部分） — 国家政策纷纷出台支持“生物制造”企业

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

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

各省市关于合成生物技术迭代、生物制造产业落地的配套政策陆续出台。据统计，在地方层面，“十四五”以来，包括北京、上海、广东、河南、山东等**31个省市**出台了合成生物学相关支持、规范类政策，内容广泛，主要从生物医药产业发展、发展高端生物制造、发展生物基材料、产业集群建设等方面展开规划。这些政策为当地生物制造企业提供良好的成长环境，发挥区域优势、解决地方剩余产能。

易凯资本认为，合成生物技术正快速向实用化、产业化方向发展，合成生物学从基础研究到生物制造的产业发展已经进入了快车道。在飞速发展的阶段，建立一套系统的、科学的行业监管体系有助于行业的规范化发展。

2. 国家队入局、地方政府牵头、上市公司/龙头企业参与等形式相结合，以特定区域优势为基础，联动发展的模式已在全国形成地方性产业集群

“十四五”期间，部分先行省市针对生物制造产业进行了相应的发展目标规划，主要聚焦于我国东部、中部地区的省市，其中河南、上海针对生物经济领域设立相应的发展目标，而吉林、重庆等省份则聚焦于合成生物技术领域的创新，广东、浙江等地则更倾向于依托合成生物技术优势促进产业发展。随着近两年的政策快速落地，各个省市加速发展自身的合成生物技术中心与生物制造产业中心，京津冀地区、华中地区、珠三角地区与长三角地区已先后落成地方性中心。同时，各地区的发展优势均不相同，例如山东省是玉米种植大省，而两广地区盛产木薯淀粉，这些代表省市中的企业生产选址通常离原料更近，运输成本更低。此外，部分省市生产用电具有成本优势，例如山西为代表的华中地区，山西拥有丰富的煤炭资源，煤电成本较低。作为技术迭代创新的源头，以北京、上海、天津和深圳等为代表的科研院所聚集了大量技术型

人才资源，此外，以广东省、江苏省、山东省为代表的制造业大省汇聚了一大批生产型人才，这也为生物制造产业发展提供了坚实的基础。

京津冀地区：作为合成生物技术的源头，京津冀地区是目前产学研结合发展较为领先的核心区域。其中，中国科学院微生物所、中国科学院天津工业生物技术研究所、清华大学、北京化工大学、天津大学等是合成生物技术领域领先的科研院所。围绕顶尖科研院所，地方政府搭建了技术孵化平台与产业园。与此同时，大量上市公司的进驻完善了产业转化的全链条，例如河北省秦皇岛市在北戴河新区重点布局了生物制造产业园，同时与北京化工大学谭天伟院士团队合作建设中试平台，以期更多科技成果在当地转化落地。

长三角地区：上海市全面布局生物制造产业。这里诞生了国内资本市场的首个生物制造概念上市公司——凯赛生物。同时，江苏省、浙江省也都在探索自身生物制造发展的优势区域。其中，江苏省常州市势头强劲，在生物制造产业这一新赛道上，常州全速抢占新风口，加快培育未来产业。随着金坛合成生物产业园、西太湖合成生物创新产业园、长三角合成生物产业创新园陆续开园，常州已完成“一城三国”千亿产业链布局；其中，深耕“两湖”创新区的武进区，正构建集合成生物学基础研究、产业应用、创新转化、产业投资于一体的全新产业生态。在浙江省，华东医药联合杭州市拱墅区人民政府、浙江工业大学共建华东合成生物学产业技术研究院浙江省杭州西湖大学合成生物与生物智造中心。

珠三角地区：粤港澳大湾区是合成生物技术的另一个高地，其中深圳市光明区备受关注。2018年成立的光明区是深圳市最年轻的行政区，但在五年时间内，经济规模由2018年的917亿元跃升至2022年的1427亿元。区域定位上，光明区从旧农场、工业区向科学中心与北部中心跨越晋级，这些过程中，生物制造产业是不容忽视的推动力。在中国科学院深圳先进技术研究院带领下，从基础研究到应用转化，从人才引进到人才培养，粤港澳大湾区科技创新全链条都将从中受益，在科学研究和成果孵化的效率方面有望实现飞跃。在众多项目中，卫光生命科学园是深圳光明区全力打造的生物制造产业园，聚焦于聚焦合成生物学和脑科学前沿技术，创建合成生物学成果转化专业园区，同在珠三角地区的广东省中山市重点启动生物制造产业集群建设。珠海市则重点打造生物医药资源新型配置中心，借助横琴粤澳深度合作区加快打造未来生命健康中医药产业生产基地和创新高地。

其他地区：

河南省依托原料、人力、交通三大成本优势，致力于在合成生物落地的关键期抓紧机遇，致力于打造华中地区的生物制造产业高地。科研方面，河南科技学院生命科学学院领先申请建设“河南省药物合成生物学工程技术研究中心”，是学校在生物医药领域省级科技创新平台的首次突破。产业方面，河南省着力构建“一核、五基地”为主体的产业布局，“一核”即郑州和新乡联动发展的生物经济核心区，“五基地”即洛阳、濮阳、南阳、商丘、周口等5个生物经济基地，支持各地因地制宜发展各具特色优势的生物经济，形成核心带动、基地支撑、竞相发展的新格局。与此同时，新和成、豫鑫糖醇、新拓洋等公司助力河南打造成生物制造产业高地。

山西协同生物制造上市公司大力发展生物制造产业。凯赛生物位于山西省合成生物产业园年产4万吨生物法癸二酸和年产90万吨生物基聚酰胺项目开工，与山西政府共同投资数百亿。山西还协同锦波生物共同打造了锦波合成生物产业园，一期注射级重组人源化胶原蛋白和A型人源化胶原蛋白单一成分无菌化妆品两条生产线于2023年5月正式投产，分别可实现年产200万支、5000万支。

山东是中国产粮大省，2023年山东粮食总产量达1131亿斤，为生物制造产业提供了丰富的上游原料资源，山东也因而汇聚了很多老牌的发酵企业。近年来，潍坊尧王集团的合成生物学医药产业园、日照生物化工产业园区投产、新和成主导的山东合成生物学营养品项目基地等

生物制造生产基地陆续启动和投产。在研发端，山东能源研究院和青岛高新区管委合作建设合成生物产业技术转化平台，计划总投资 1.2 亿元，分期建设包括发酵中试平台、发酵工艺验证平台、分析测试平台、微生物培养平台、分离纯化平台、GMP 平台等 6 个公共支撑平台和 1 个个性化项目孵化平台。围绕生物医药、医疗器械领域，主要进行科技成果中试放大、技术熟化转化及科技企业孵化。

易凯资本认为，全国越来越多的区域正在探索或者已经寻求到自身在“生物制造”产业中的优势定位，随着生物制造产业应用的落地，在未来的 1-3 年内，各地政府将会重点发力符合自身特色的生物制造产业具体应用行业。在此基础上，相临区域的抱团发展模式将会是未来 3-5 年内的主流。

（三）跨国集团、上市公司与生物制造产业的结合比以往更紧密

1. 传统行业巨头正在积极寻求生物制造转型

在绿色经济背景下，生物制造的必要性日益凸显，大量垂直行业巨头公司在 2020 年前后开启了自身的“大象转身”之路，涉及的行业包括传统化工、传统能源、材料等工业赛道。其中，百年企业帝斯曼被认为是生物制造转型的经典案例，借助其百年产业链上下游优势，通过收并购，在 20 年间完成全面转型，从百年化工巨头变为生物制造企业。

帝斯曼 (DSM) 最初是荷兰国有煤矿公司，借助产业链优势转型到了化肥尿素业务，随后布局合成氨产业链（化肥）、有机化学品、石油化工产品并开始推出各种高性能塑料及工程材料，并以此作为基石发展百余年。2022 年，帝斯曼将帝斯曼工程材料以 38.5 亿欧元价格出售给了安宏资本和朗盛，自身转向了维生素、医药品、添加剂等业务，并通过自研、收购、合作开发等方式逐渐向生命科学公司转型。2020 年，帝斯曼以 7.5 亿欧元收购世界领先的母乳低聚糖 (HMO) 供应商 Glycom，加速布局生命营养相关业务。2021 年，帝斯曼收购 Amyris 的香精和香水业务，为帝斯曼现有的个人护理和香气成分活动中增加 7 种中间产品，扩大其在香精香料和化妆品行业的生物基成分的占比。2023 年初，帝斯曼宣布其开发的酵母生物合成的维生素 A 进入大规模生产并全面上市。

2022 年 5 月 31 日，帝斯曼宣布和国际香精香料生产巨头瑞士芬美意 (Firmenich) 公司达成合并协议，两家公司合二为一组成帝斯曼芬美意公司，新公司的未来发展将专注于营养、美容和健康业务领域。经过 120 年的发展，帝斯曼公司从一个煤矿企业，转型成为一家销售额超过 115 亿欧元的全球营养健康行业巨头。

除帝斯曼之外，英国石油公司 (BP)、壳牌 (Shell)、杜邦 (Dupont)、陶氏 (Dow)、巴斯 (BASF)、嘉吉 (Cargill)、韩国希杰集团 (CJ) 等全球各行业领军企业均先后走上生物制造转型之路，在满足绿色经济发展需求的同时，大跨步迈入生物制造新时代。目前，传统行业巨头进入合成生物学领域的途径主要有三种：一是内部自研，成立合成生物技术研究部门；二是企业间合作共创，借助合成生物技术领跑企业力量，赋能生物技术转型；三是投资孵化，筛选产业链中优质创新型企业，完善企业创新发展。但无论是什么样的途径，都可以看到传统巨头在布局生物制造产业生态时具有一些显著的优势，即利用合成生物技术生产的产品可以与传统化工、食品、粮商等共享部分现有产业链条，从而使相关产品能够充分发挥其优势，极有可能抢占大单品市场的主导地位，获得主要市场份额。

另一个值得关注的产业巨头转型案例是德国化工巨头巴斯夫。转向生物合成来生产新产品是传统化学工业的一个重要变革，用微生物底盘来制造塑料等化工产品，存在很多新的机会和方式，通过探索如何提高底盘微生物的产率，成为化工行业当前的转型升级趋势。巴斯夫在过去十年间积极通过自研与合作，转向生物制造产业，为农业领域提供新产品。

在 2023 年的年度交流会议上，巴斯夫详细介绍了正在推进的合成生物技术在化工领域中应用的情况，以期减少对石化原料的依赖。巴斯夫在五个相关业务领域中（化学品、材料、工业解决方案、营养与护理和农业解决方案）已经生产了 3000 多种与生物技术相关或可生物降解的产品，涵盖生物聚合物（生物降解地膜）、人类和动物营养的基本成分（如维生素和酶）、作物保护产品、基因组编辑育种，香精香料以及用于洗涤剂 and 化妆品成分的酶。2021 年，这些产品为巴斯夫贡献了超过 35 亿欧元的销售额（全年总销售额 786 亿欧元），并且这一趋势还在上升。同时，基于合成生物技术，巴斯夫在生物杀虫剂、添加剂等品类中已经有多种较为成熟的产品，如 lSerifel，基于解淀粉芽孢杆菌菌株 MBI 600 细菌的制剂，可以作为植物周围的屏障来预防疾病；IVelifer，生物杀虫剂，可释放有益真菌的孢子来控制各种害虫。

巴斯夫深度布局生物制造企业，坚定不移地推动全球绿色发展战略

时间	合作企业	布局方式	企业简介	合作赋能
2022.12	恩和生物 (中国)	投资、合作	新一代专属生物技术平台	双方共同研究生物基产品及其工艺流程、合作开发下游产品，致力于减少化学工业的碳足迹。
2022.09	英格生物 (中国)	投资	植物活性成分提取商	英格生物将继续扩大其生产装置，推动业务扩张。巴斯夫已与英格生物共同研发个人护理解决方案。
2019.10	Isobionics (荷兰)	收购	天然香精香料成分开发商	Isobionics所有的业务及其所有员工并入巴斯夫香原料业务部。
2019.10	Conagen (德国)	合作	生物技术香精香料企业	通过此项合作，巴斯夫向市场推出需求极大的香原料——天然香兰素。

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

综上，诸如帝斯曼、巴斯夫等老牌企业巨头通过自研、并购的方式布局生物制造产业将会成为常态。通常来说生物制造企业主要有三大商业模式。

1) 技术平台主导型

以合成生物技术为底层平台型企业，作为技术输出方从上自下服务产业链下游客户，以技术服务或开发合作作为商业模式，该类企业的核心壁垒主要是对底盘细胞改造或者酶改造的技术能力，这类企业选择战略放弃了下游品牌、产品的价值链，仅就目前发展来看，上游产业链的赋能价值仍未充分释放；

2) 平台+产品型

以合成生物技术为支撑，通过布局核心产品以期完成双轮驱动，打造可持续的商业闭环，除了技术平台的能力外，还需要有成熟的选品逻辑和工业规模的生产能力，合成生物学技术平台+单品能够形成可持续的商业闭环，但是同样的，失败的选品也会让企业陷入泥沼；

3) 产品主导型

通过自研、并购切入爆款单品，以产品作为主导抢占相关市场，再通过规模化生产能力形成市场领先，该类企业可以分为两大类：第一类企业紧盯某大宗品类，通过更低成本和更绿色生产全面替代，低毛利高产量；第二类企业紧盯消费品市场，通过新生产方式进行品牌替代并生产高毛利产品，形成中小市场绝对垄断。相同的，该模式的核心壁垒是选品与成本优势。

老牌企业全面布局生物基战略转型，通过三种商业模式破局

以DSM（帝斯曼）为代表，在各国政府政策和计划的鼓励、刺激下，大型跨国石油、化工巨头斥巨资投入生物化工产业，发展面向生物制造的工业生物技术



数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

易凯资本认为，无论是出于主动变革还是被动转型，全球巨头向生物制造的转型都会不断加速。在3-5年内，由产业巨头发起的并购将会掀起产业整合热潮，生物制造也将推动全球制造业、消费、农粮食品业的全面升级，乃至全新业态的出现。

2. 我国相关行业&跨行业的上市公司、产业集团正在寻求生物制造浪潮下的黄金增长机会

易凯资本观察到，各行业中越来越多的上市企业、产业集团，例如贵州茅台、华熙生物、爱美客等加入到生物制造行业当中，围绕基因编辑、蛋白/酶工程等开展应用研究，持续研发新技术、新工艺和新产品。这些企业力图通过生物制造转型，一方面谋求扩大自身业务版图，另一方面也成为相关行业产业集群的核心力量。

这类企业中，颇具代表性的便是贵州茅台集团。作为中国白酒行业的领军企业、中国食品酿造工业的头部企业，茅台集团与生物科技、生物经济有着天然的联系。近十年茅台集团围绕全产业链各领域累计投入研发经费超60亿元，开展各类科研创新项目260多项，其于2005年建立白酒微生物菌种资源库积累至今，保存了细菌、酵母、丝状真菌等各类酿造微生物资源8400余株。根据茅台集团2023年战略研讨会披露，未来茅台将在合成生物学底盘菌株的开发、益生菌开发、食品原料开发、酒糟再利用开发及香味物质开发等方面持续性加大投入。除了自

身研发升级方面，茅台集团更是通过设立生物制造基金的方式，持续布局产业链上游。2023年5月，贵州茅台发布公告称，公司拟出资参与设立两只产业发展基金，分别是茅台招华基金和茅台金石基金。两支基金分别由招商资本管理、金石投资担任基金管理人，贵州茅台分别认缴50亿元，累计出资100亿元。两支巨型CVC的设立彰显茅台集团在产业升级发展上的坚定决心。

另一个代表案例，华熙生物自2018年起开始布局合成生物技术平台，迄今已取得阶段性成果。通过合成生物技术，华熙生物已建成透明质酸、硫酸软骨素、肝素寡糖三大多糖库，开展100种以上人乳寡糖的系统性合成。此外，多种生物活性物取得了突破性进展，逐步实现产业化转化，如高纯度麦角硫因、5-ALA、甘油葡萄糖苷等。在合成生物学研发平台支持下，华熙生物的超纯麦角硫因和微真两种化妆品级生物活性物新原料产品已完成上市，而且已经被应用在面向消费者的产品中。并已有多个品类进入中试阶段或完成试产。除内部研发外，华熙生物也通过收购寻求新的业务增长。2022年4月，华熙生物以2.33亿人民币收购北京益而康生物工程有限公司51%的股权，正式入局胶原蛋白，未来有望实现胶原蛋白原料+终端产品的产业链协同。

易凯资本认为，有潜力发展合成生物技术或正在从事生物制造业务的企业数量正以极高的加速度逐年增长。一大批上市公司、产业集团将会通过CVC的合作策略、自研模式等，谋求生物制造对于企业生态的新增长曲线。龙头企业的争相入局在将会从市场端反向推动生物制造产业的高速发展。

（四）国有资本引领下，一、二级市场交易目的和形式越发多样，退出方式越发多元化

1. 生物制造作为国家纲领性产业，一、二级市场投融资将会长期处于高度活跃期，未来1-3年资金将以人民币及政府引导基金为主导

作为我国战略性新兴产业中重要领域，目前生物制造产业依旧处于产业化的早中期阶段，作为我国生物经济战略的重要组成部分，在未来3-5年内，人民币及政府引导基金将主导一级市场中初创企业的融资交易。近两年，以国投集团、北京国管、河南投资集团等为首的一批中央、地方政府投资机构积极开展生物制造产业布局，通过设立人民币基金、产业园配套落地招商等一系列手段与一批初创企业形成紧密合作连结。在提供资金的同时，更是引导产业本土化发展，搭建完整的从研发到量产到销售的全套产业链。

2024年，生物制造产业正处于落地和完成商业化闭环的关键阶段，“基金+产业”的组合打法为新兴产业提供了强力支撑。在未来多元的资源禀赋基础和集群型辐射效应下，生物制造在各省市的产业园区的商业化落地前景可期。无独有偶的是，国家开发投资集团有限公司作为中央直接管理的国有重要骨干企业，也积极配合国家政策进行生物制造产业赋能。旗下多个资金出口均在2023年积极布局合成生物技术企业、生物制造企业。

我国的合成生物技术产业化在过去几年处于高速发展阶段。中国作为全球生物发酵第一大国，合成生物学相关技术的落地应用具备丰富的土壤。目前生物制造在中国已经形成了新兴产业，这一战略定位离不开国有资本的大力支持，从中央到政府机构，大批国有资本有规划、有节奏的注入生物制造产业，为行业发展提供有力的资金基础。与之相对的，创新型企业由于政策、法规环境等多种因素也更热衷于欢迎国家队的入驻。易凯资本认为，在未来5年内，以政府引导基金为主的人民币资金仍将主导生物制造产业投融资市场，企业与政府紧密协同将会成为常态。

2. 生物制造上市企业通过定增方式扩大自身体量，央企集团联手上市民企的展开超长线合作

中国生物制造上市企业凯赛生物、华恒生物均有披露，通过定增的方式募集资金已扩大自身规模，并持续加大基础建设投入。早在2022年10月，华恒生物就发布公告拟定增募资不超过17.27亿元，加码年产5万吨生物基丁二酸及生物基产品原料生产基地建设等项目。无独有偶的是，凯赛生物，作为生物制造上市第一股，于2023年6月25日披露向特定对象发行股票预案，拟以43.34元/股的价格，向上海曜勤生物科技合伙企业(有限合伙)，发行股票募资不超过66亿元。凯赛生物是全球生物法长链二元酸的产业化生产龙头。此次发行后，招商局集团入股并持有公司超过5%的股份。另外，公司拟与招商局集团签订《业务合作协议》，发挥双方在生物基聚酰胺产品技术和市场等方面的优势，发挥产业链上的协同效应，提升公司综合竞争力。根据协议，招商局从凯赛生物采购产品，可以选择生物基聚酰胺树脂，或生物基聚酰胺纤维复合材料。

根据凯赛生物公布的与招商局集团签署的《业务合作协议》来看，双方的合作主要涉及生物基聚酰胺材料战略采购、投融资战略两方面。商业化的协同是双方合作的重要渠道力，招商局集团将尽最大的商业努力，推广和落实凯赛生物基聚酰胺产品的使用。招商局采购并使用凯赛生物的产品中，生物基聚酰胺树脂的量于2023年、2024年和2025年分别为不低于1万吨、8万吨和20万吨。从2024年底开始，双方提前一年确定后续采购产品形式和采购量。同时在投融资战略方面，招商局集团将协调其集团内关联金融企业，以有市场竞争力的融资利率为凯赛生物及其投资的项目提供融资服务。

本次招商局入股凯赛生物将是一次“给钱、给订单、不要权”的战略投资，一方面为凯赛生物补充大量流动资金，以使其能健康快速地扩大自身规模；另一方面，通过给予凯赛生物大量订单，保障其后续健康发展。

诸如凯赛生物这样的生物制造领域领军企业，其在产业化过程中需要能够产生强资源协同、优势互补的合作伙伴。招商局集团是中国中央直接管理的国有骨干机构，双方合作能在资源上有效互补，同时，定增也彰显了国家队和国有基金在生物制造产业上的重点投入。

易凯资本认为，未来国有资本仍将是上市企业、准上市企业以及一级市场创新属性的企业最值得信赖的资金来源。通过国有资本带动，整个投融资市场将处于高度活跃期，诸如招商局和凯赛生物这样的央企与头部民企联姻将会起到行业发展模式探索的“先锋”效应。

3. 生物制造企业融资与退出也将更具备中国特色，“拥抱国家大战略”“与招商引资相结合”和“老股退出”等形式也将成为主要交易方式

从区域发展角度，合成生物学本身，作为一种平台型技术，其应用领域极为广泛，除医疗健康外，工业化学品、生物农业、食品饮料、美妆日化等细分领域均有落地场景，这意味着以合成生物学作为技术平台能带动多个产业的横向发展。从企业角度，合成生物技术带动的生产制造产业通常需要产能匹配的生产场地和配套设施以便企业实现规模化量产。地方政府、基金和企业双方需求的结合，引发了现在生物制造“招商引资热潮”。

以生物制造产业发展热门地区北京市为例，2024年，北京设立了规模200亿元的医药健康大基金，生物制造为其重点关注方向之一。2024年1月，北京举行了合成生物制造产业创新发展工作推进会。会上，北京市合成生物制造技术创新中心和中关村合成生物制造产业集聚区揭牌并启动建设，计划打造具有全球影响力的合成生物制造产业创新策源地和产业创新高地。昌平、亦庄等区也纷纷推出了相关的响应政策。昌平区的未来科学城将建设合成生物制造技术创新中心，重点布局生物催化剂设计、生物制造原料开发、生物制造过程强化、生物制造

产品工程等四大分中心，围绕生物制造产业链、创新链、价值链开展全流程技术攻关，为引领生物制造产业创新发展筑牢基础。此外，昌平科技园下属的昌发展也通过股权投资、上市公司合作等形式进一步吸引相关企业落地。北京其他辖区例如亦庄也响应两会发展新质生产力的要求，2024年3月，北京亦庄首个合成生物制造公共技术平台正式启用。

上海以浦东、宝山、奉贤、金山等区为代表的政府单位同样正积极布局生物制造相关产业，通过“招商引资”的方式，积极建设合成生物学相关产业园，大力扶持产业链上下游各企业。各区通过汇聚一批合成生物学领军科学家和优秀人才，促进一批合成生物学研究成果转化，引进一批合成生物技术产业化项目，旨在成为具有影响力的合成生物学产业发展园区、学术研究中心、创新成果转化示范基地。宝山区已建成“上海生物制造产业创新中心”，总建筑面积约3000平方米。位于金山区的上海湾区生物医药港正重点发展高附加值原料药、现代中药、CAR-T免疫细胞治疗等合成生物学创新产业。结合2023年发布的《上海打造未来产业创新高地发展壮大未来产业集群行动方案》，上海瞄准三大领域，重点推进合成生物学在生物医药、先进材料和能源环保、消费品三大领域的发展与应用。

深圳作为湾区的“旗帜”，高度重视生物制造产业发展，并于2017年开始了合成生物底层技术研究的布局。中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究所（简称“合成所”）于2017年12月成立。目前已吸纳约50位的全职研究员，研究所的整体规模达到1000人，是全球规模最大的合成生物学研究所。产业层面，深圳于2022年发布《关于发展壮大战略性新兴产业集群和培育发展未来产业的意见》，前瞻布局8大未来产业，其中生物制造位列8大未来产业之首，并于2023年设立了生物制造产业专项基金。光明区将生物制造作为重点发展产业，于2021年10月发布全国首个合成生物领域专项扶持政策，俗称“四个1000万”，即重点科技专项支持最高1000万、用房租金补贴最高1000万、GMP厂房改造补贴最高1000万、公共服务平台建设最高1000万，为产业的后续发展提供助力。

由此可见，在各地政府引领“招商引资”热潮的当下，初创企业更倾向于选择国有资本或人民币资金作为其发展早期阶段的股权合作伙伴。生物制造产业中一级市场的投资愈发火热的同时，资金的退出方式也更加多元化。有别于其他“追热点”的赛道发展历程，生物制造赛道的爆发将会更加慢热，需要投资方有更多的耐心。在此背景下，股权投资的合作会与传统追求快速上市获取财务回报的投资逻辑有所差异。更考验机构股东与创始团队是否高度契合，目标高度一致，做好长期陪跑的准备。我们预计，由此引发的上市前股权转让交易将会更加频繁。

易凯资本表示，生物制造产业需“产-学-研”整体联动发展，以创造更多机会。招商引资热潮将为企业提供良好生产和研发环境、生态系统的合作伙伴、税收、审批和环保政策、厂房土地优惠等，结合当地的生物制造原料、销售渠道、生产型人才等给予企业多方面协助。选择适合的区域研发和生产是企业会持续面临的机会和挑战。在退出端，老股交易可能较其他赛道更活跃，创始团队更愿寻找长期稳定合作伙伴，而非单纯追求财务回报的投资机构。

（五）IPO受阻的生物制造企业面临重组再发展或转让出售的重要抉择

1. 合成生物学鼻祖申请破产给中国生物制造企业的启示

在中国市场，生物制造产业正处于如火如荼的发展中。然而，合成生物鼻祖Amyris于2023年宣布申请破产，这无疑给全球产业泼了一盆冷水。2023年8月10日，Amyris公告宣布Amyris及其美国子公司已根据美国破产法第11章申请破产，并计划出售其消费品牌，以改善公司的流动资金状况。在申请破产前，这一切早有预兆，Amyris于2021年开始陆续关停旗下四个品牌：护肤品牌Terasana，专注于Z世代的彩妆品牌EcoFabulous，高端护肤品牌Costa Brazil和清洁保健品牌Olika。同时，其还计划出售旗下其他美妆、健康领域的消费品牌。

Amyris 是合成生物学领域极具代表性的领军企业，也是第一批合成生物的上市企业（其于 2010 年登陆美国纳斯达克）。其由加州大学教授 Jay Keasling 教授于 2003 年创立，公司利用合成生物技术生产可用于治疗疟疾德分子青蒿素。2008 年，该公司将青蒿酸生产技术授权给法国制药巨头赛诺菲，一举奠定了 Amyris 在合成生物学领域的成功。2010 年，Amyris 率先实现纳斯达克 IPO，成为全球首家合成生物学上市企业。迄今为止，Amyris 成功地创造了总共 13 种生物基发酵可持续成分并将其商业化，在行业中遥遥领先。

Amyris 在规模化生产青蒿素上取得成功，而将这一技术转让给法国制药巨头 Sanofi 之后，便陷入了转型的阵痛期中。Amyris 首先瞄准的是在 2023 年看来仍旧是发展初期的生物燃料赛道。其将主营业务定位在利用合成生物学方法生物合成燃料乙醇和生物柴油等能源项目，后来由于成本居高不下，以及国际油价大幅降低，导致其产线竞争力不足，未能如期扩产。生物燃料之后，Amyris 宣布进行战略转型，2015 年，Amyris 推出了其首个消费美妆品牌——护肤品线 Biossance，并靠独家成分“角鲨烷”成功打入纯净美容行业。此后，Amyris 开始通过一系列品牌收购和品牌孵化，大举进军面向 C 端的消费品市场。然而，C 端盲目扩张所带来的高额费用和 B 端原料量产困难在疫情前后成为 Amyris 亟需处理的棘手问题。

2022 年，Amyris 全年营收 2.7 亿美元，同比 2021 年的 3.4 亿下滑了 21%。而 2023 年第一季度，更是亏损翻倍。2023 年，Amyris 将自己主要的化妆品活性成分出售给了奇华顿，其破产时的债务总额为 13 亿美元。

易凯资本认为，Amyris 是探寻如何让崭新的技术走出实验室并达到量产的先驱。然而，Amyris 忽略了量产的成本和实施难度、对于 C 端拓展的难度估计不足，导致公司亏损进一步加大，这也对中国生物制造的初创企业是一个警示。中国拥有完整而强大的生物制造基础设施、工程人才和量产能力，具备生物制造产业发展的土壤，但企业仍需针对所选品与所选赛道应有充分的调研和充足的前期准备，商业模式是始终 2B 还是 B 端 C 端双管齐下，仍然需要创始团队根据自身情况来把握企业定位。

2. IPO 政策收紧的大背景下，受阻的生物制造准上市企业面临重要选择

生物制造产业迎来了商业化驱动的第二波浪潮，其中率先将自身技术实现产业落地并提供行业内具有相对独占性产品的企业也迎来了上市窗口。2022-2023 年，生物制造领域有 7 起重要的 IPO 事件，从板块分布来看，生物制造企业因其横跨医疗健康、农业和食品、医美日化、工业化学品及能源等多领域，因此上市灵活性较强，板块选择灵活度高，上市途径较为通畅。从细分行业来看，7 起 IPO 事件中，6 家公司为大宗商品研发、生产及销售企业，表明产品型公司因其下游应用广泛、收入起量快等特点，仍然是目前上市的主力军。在产业热度和资本追捧的双重作用下，部分明星生物制造企业将率先登陆二级市场。

但在企业发展的某些阶段，上市受阻的情况依然存在。生物制造赛道明星公司弈柯莱申请科创板 IPO 半年后主动终止。从财务表现来看，弈柯莱业绩具备极佳成长性。根据招股书披露的数据，2019-2021 年，公司分别实现营业收入 1.38 亿元、2.17 亿元和 3.31 亿元，报告期内营业收入年复合增长率为 54.69%。本次主动撤回申请疑是大宗产品原材料成本、出货压款、存货金额高导致现金流量净额均为负之担忧，问讯环节中，上交所主要关注弈柯莱主营业务及主要产品、科创属性、商业化模式、客户、采购与供应商、同业竞争、历史沿革、期间费用、财务性投资等 17 个问题。弈柯莱的营收与净利润在报告期内实现了显著增长，若公司能够维持营收的上升趋势，并进一步验证其产品的科技创新属性，则其上市成功的前景依然较为乐观。另一家生物制造公司轩凯生物仍在 IPO 问询流程中，但其过高的研发投入及逐年下降的毛利率也受到诸多质疑。

生物发酵的部分头部企业也面临着上市的多重挑战。福洋生物于 2023 年 11 月终止上市。

作为传统的大型玉米深加工企业，福洋生物拥有较强的资金实力和生产基础，根据福洋生物招股书数据，2019-2022H1，公司主营业务收入分别为 22.30 亿元、26.98 亿元、35.39 亿元和 17.14 亿元。根据首轮问讯来看，公司的交易、采购及生产真实性遭到质疑。此外，公司的毛利情况和增长性持续遭到质疑。福洋生物致力于在其传统优势产品玉米淀粉和葡萄糖酸钠的基础上，逐步向高附加值产品转型。截至 2022 年，福洋生物已完成 5 万吨赤藓糖醇产能的建设。然而，受国内产能过剩及原料玉米价格高涨的影响，赤藓糖醇产品的毛利率大幅下降，根据招股书显示，福洋生物功能糖类产品在 2022 年上半年同比下降了 23.2%。在传统生物发酵企业在转型过程中，为了摆脱传统企业的“枷锁”，企业需要更敏锐地关注合成生物技术的迭代，并在合适的时间点选择切入具有自身优势和足够大未来发展空间的品类。跟随市场的热点可能会导致企业盈利窗口期过短，从而导致转型升级受阻或阶段性的滞后。

易凯资本认为，各家生物制造企业的基本面仍然是上市的金标准。IPO 收紧下，越来越多的企业将会倒在上市前的“临门一脚”。选择埋头发展再择机登陆资本市场，还是重组再发展或转让出售将是摆在掌门人面前的重要选择。未来如何平衡技术与量产业的产业两端，做到兼具合成生物学之“名”，又有生物制造之“实”将会极大程度上决定企业在资本市场上的表现和后续自身的发展空间。

二、2023 年市场表现

(一) 二级市场

1. 全球生物制造上市企业表现不一，国内二级市场表现分层更清晰

2023 年，海外主要的 8 家生物制造相关概念公司股价表现不佳，一方面原因是 2022 年各家公司业务受到基本面影响，亏损有所加大；另一方面是各家公司整体市值偏小，抗风险能力弱。2023 年 8 月 10 日，Amyris 发布公告自愿申请破产。

海外二级市场相关公司表现

单位：十亿美元，百万美元，%

公司名称	股票代码	主要产品/服务	年度股价涨跌幅(%)	相对标普500涨跌幅(%)	当前总市值(十亿美元)	市盈率 TTM	2022年收入(百万美元)	2022年净利润(百万美元)
Ginkgo	DNA.N	微生物设计服务	0.0%	-24.2%	3.6	-3.8	313.8	-1,836.6
Intellia	NTLA.O	基于CRISPR-Cas9技术的基因编辑疗法	-12.6%	-36.8%	2.7	-5.7	33.1	-267.9
Twist Bioscience	TWST.O	DNA、RNA合成服务	0.5%	-30.6%	2.1	-9.2	132.3	-152.1
Beyond Meat	BYND.O	人造肉	-27.7%	-51.9%	0.6	-2.1	464.7	-182.1
Gevo	GEVO.O	异丁醇	-39.0%	-63.2%	0.3	-3.8	0.7	-59.2
Codexis	CDXS.O	新型高功能性酶和新型生物治疗药物	-34.6%	-58.8%	0.2	-2.5	104.8	-21.3
GreenLight	GRNA.O	用于农业保护的双链RNA喷剂产品	已退市		退市	退市		
Synlogic	SYBX.O	基于益生菌改造的治疗苯丙酮尿症药物	-406.6%	382.4%	0.0	-0.7	1.8	-60.6

数据来源：Wind，市值及股价信息截止2023年12月31日，易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

与此同时，并购整合的趋势在海外市场逐渐兴起。作为生物制造平台型龙头企业，重视合成生物学“平台效应”的 Ginkgo 在 2022 年至 2023 年两年间先后宣布收购合成生物公司 Zymergen、Circularis 和 Stride Bio。2023 年 1 月，mRNA 疗法和疫苗龙头企业 Moderna 宣布以 8500 万美元收购 OriCiro Genomics K.K.，后者是一家致力于无细胞 DNA 合成和扩增技术的合成生物学公司，Moderna 期望通过本次收购提供更好的工具来合成和扩增质粒 DNA，以加速 Moderna 产品线的开发。与此同时，Moderna 同时开始在中国的布局，2023 年 11 月，公司在中国首个药厂——美德纳中国研发生产总部项目开工建设。根据公开消息，Moderna 预计会在上海中心投资约 10 亿美元。

在 2023 年白皮书中，我们提到，合成生物是推动和支撑多个产业发展的底层技术，也是一个“横向+纵向”的生态体系。“横向”是支撑产业应用落地的底层技术平台，“纵向”则是“横向”应用具体场景落地。除了技术领域的纵向整合之外，还存在横向产品间的并购。全球特种化学品龙头公司盈创 (Evonik) 于 2023 年宣布收购天然及可持续化妆品活性成分公司 Novachem。同为植物领域的合成生物学公司 Calyxt 和 Cibus 也于 2023 年伊始宣布合并，以谋求共同发展。海外生物制造行业的整合迹象初现，或可为中国国内行业的发展方向提供指导。

国内二级市场角度，截止 2023 年 12 月 31 日，A 股 (含北交所)、港股市场共有 6 家生物制造概念上市公司、11 家深度布局生物制造的上市公司。

国内二级市场相关公司表现

单位：十亿元人民币

公司名称	所在板块	当前总市值 (十亿元人民币)	静态市盈率	市销率
凯赛生物	上交所科创板	32.1	58.0	13.1
巨子生物	港交所主板	34.3	38.0	13.3
华恒生物	上交所科创板	19.8	62.0	14.0
天新药业	上交所主板	10.5	16.9	4.6
川宁生物	深交所创业板	18.7	45.3	4.9
锦波生物	北交所	17.8	163.2	45.6
中位数			51.7	13.2
平均值			50.8	11.3
华东医药	深交所主板	72.7	29.1	1.9
华熙生物	上交所科创板	32.2	33.2	5.1
安琪酵母	上交所主板	30.6	23.1	2.4
梅花生物	上交所主板	28.1	6.4	1.0
健康元	上交所主板	23.2	15.4	1.4
诺唯赞	上交所科创板	12.8	21.6	3.6
远大医药	港交所主板	14.5	6.8	1.5
金城医药	深交所创业板	6.4	23.4	1.8
卫光生物	深交所主板	8.0	68.1	11.9
嘉必优	上交所科创板	3.0	47.1	7.0
无锡晶海	北交所	1.9	29.9	5.0
中位数			23.4	2.4
平均值			25.5	3.3

注：平均值已剔除最高和最低的异常值。
数据来源：Wind，市值及股价信息截止2023年12月31日，易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

从估值倍数来看，6家上市公司平均静态市盈率及市销率倍数均高于深度布局合成生物技术的10家公司对应均值，表明二级市场对生物制造企业的估值预期仍然处于较高水平。以锦波生物为例，作为“A股重组胶原蛋白第一股”，锦波生物在北交所成功上市极大提升了市场信心，截止至2023年12月31日，锦波生物是北交所目前市值第二高的企业，同时也是北交所目前股价最高的企业。

从股价表现来看，7家公司股价跑赢大盘，分别为凯赛生物、华恒生物、川宁生物、华东医药、梅花生物、健康元、卫光生物，但只有3家公司股价同比2022年12月31日收市上涨，分别为巨子生物、华恒生物、卫光生物。其原因主要是相关上市公司所在的大行业医疗保健/食品化工等行业板块走势整体较为低迷，在对生物制造高度热情的同时仍然会严格判断市场导向对公司基本面带来的影响。

2022-2023年国内生物制造赛道重要IPO事件

单位：亿元人民币，百万元人民币

公司名称	所在板块	递交申请时间	上市时间	一级行业	二级行业	主要产品	22年收入(百万元)	22年净利润(百万元)	市值(亿元)
天新药业	主板	2021/7/1	2022/6/23	生物能源/材料/化学品	大宗商品	维生素B6和维生素B1	2,305	622	105
巨子生物	港股	2022/5/5	2022/11/4	生物能源/材料/化学品	大宗商品	重组胶原蛋白制品	2,364	1,002	343
川宁生物	创业板	2021/8/23	2022/12/7	生物能源/材料/化学品	大宗商品	抗生素中间体	3,821	412	187
锦波生物	北交所	2022/11/23	2023/7/20	生物能源/材料/化学品	大宗商品	重组胶原蛋白制品	390	110	178
无锡晶海	北交所	2023/7/31	2023/12/12	生物能源/材料/化学品	大宗商品	支链氨基酸、苯丙氨酸、脯氨酸等	387	64	19
轩凯生物*	科创板	2022/12/31	上市审核	生物农业+食品营养	植物生物助剂	聚谷氨酸、枯草芽孢杆菌、壳寡糖等	253	46	/
弈柯莱*	科创板	2022/6/30	终止上市	生物能源/材料/化学品	大宗商品	西他列汀中间体、度鲁特韦中间体	331	31	/

数据来源：Wind，市值及股价信息截止2023年12月31日，易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

随着 IPO 持续收紧，2023 年生物制造领域 IPO 事件相比 2022 年有一定下降。2022 年全年共计 5 起 IPO 事件，均为大宗商品研发、生产及销售企业。而 2023 年全年仅有 2 起 IPO 事件，分别是锦波生物和无锡晶海，均在北交所上市。随着科创板、主板的上市路径逐渐收紧，在窗口期内的北交所有望成为生物制造公司在二级市场上的重要融资平台。生物制造概念公司的属性多为创新型中小企业，完美切合北交所定位服务的企业类型。2023 年北交所新增上市公司 77 家，其中 43 家为专精特新“小巨人”企业，占比 55.8%。北交所关注在产业链的起到重要支撑的公司，给予科技成长型企业更多空间，生物制造创新型公司将有明显优势。

2. 中国生物制造概念上市公司营收表现强劲

生物制造创新型公司在 2023 年不乏亮眼的业绩增长。根据 2023 年业绩披露，锦波生物 2023 年全年营业收入为 7.8 亿元，较 2022 年的 3.9 亿元，同比增长 99.96%；归属于上市公司股东的净利润为 2.99 亿元，较 2022 年的 1.09 亿元，同比大涨 174.61%；锦波生物的增势得益于公司持续进行产品升级，同时外部医美及胶原蛋白市场持续扩张。川宁生物 2023 年业绩快报显示，公司 2023 年预计实现净利润 9 亿元~9.9 亿元，比上年同期增长 118.70%~140.57%，对于业绩增长的原因，川宁生物在预告中表示，2023 年市场需求恢复，公司主要产品销量及价格上升，净利润同比提高。其次，公司通过积极推进绿色循环经济、饱和生产、节能降耗等工作，取得了降本增效的成果等。凯赛生物发布 2023 年实现营业收入 21.1 亿元，同比下降 13.39%，归母净利润 3.7 亿元，同比下降 33.66%，公司长链二元酸系列收入、毛利受国际市场环境、行业等因素的影响有所下降，美元汇率波动致使汇兑收益下降，导致公司营业利润较上期下降，但公司长链二元酸产品依然保持了全球市场的主导地位。

华恒生物在氨基酸领域是无可争议的龙头公司。其首创的“以可再生葡萄糖为原料厌氧发酵生产L-丙氨酸”的关键技术现已达国际领先水平。公司于2012年在全球首次实现了L-丙氨酸厌氧发酵生产,实现了L-丙氨酸生产成本的大幅度下降,成本可达到传统酶法工艺的50%。全球丙氨酸产能主要集中在国内,而华恒生物凭借厌氧发酵工艺,显著降低了L-丙氨酸生产成本,产品极具竞争优势。根据公开数据,华恒的丙氨酸系列产品全球市场份额约50%,稳居第一。华恒的另一代表性产品为缬氨酸,采取全程厌氧法制备,其工艺与丙氨酸有所相通,产品在纯度、色度及粒度分布多方面表现优异。

丙氨酸及缬氨酸的快速放量是公司近年来业绩大幅度增长的主要原因。随着合肥基地 β -丙氨酸衍生物及秦皇岛基地 β -丙氨酸项目的建成及产能释放及工艺优化,公司丙氨酸产品竞争优势将愈加突出。

在代表性产品之外,公司也持续借助合成生物技术不断布局新产品。新材料领域,华恒生物布局了丁二酸、PDO,瞄准下游可降解塑料及生物及纤维的巨大潜在市场。日化领域,华恒生物也布局了苹果酸、 α 熊果苷等产品。2023年10月,公司公告拟与杭州优泽生物科技有限公司共同投资优华生物科技有限公司,公司出资40%,优泽生物出资60%。优华生物是公司高丝族氨基酸产业化平台,其控股方优泽生物的第一大股东为与中国工程院郑裕国院士。

在传统优势产品和新产品的双重驱动下,华恒生物2023年业绩表现抢眼。根据其2023年业绩快报,华恒生物2023年营业收入达到19.39亿元,同比上升36.66%;归母净利润达到4.51亿元,同比上升40.84%。

易凯资本认为,生物制造企业优势源自选品和对应的窗口期,产品线的丰富度和持续迭代,并在对应1-3年的市场窗口期内提供具有竞争力的产品。通过开放多元化的合作模式,实现研-产-销一体化、全产业链布局,帮助企业从“明星单品”或单一应用领域扩展到系列产品和更多的应用领域,凭借规模化的产业生态和全面的能力实现生物制造可持续发展。

3. 以合成生物学为中心的生物制造产业将成为上市公司追求的新商业契机,相关产业巨头的投资、并购将加速产业整合

合成生物技术通过细胞工厂的方式替代传统的化学合成、动植物提取等方式,实现目标产物高效率、低成本、低能耗地生产。随着合成生物技术应用场景的增加,其应用覆盖医药、化工、能源、食品及农业等多个和国计民生紧密相关的领域。2023年,国内基于合成生物技术的初创公司如雨后春笋般出现。我们也发现,部分创新药的上游产业链也有转型到生物制造上游的趋势,主要以原料供应、工艺开发、申报和生产方案优化等CXO的方式闯入生物制造市场。相关领域内资金充足的行业巨头希望通过“内生+外延”的模式,寻求产业转型或者技术升级已呈多点开花之势,即内部通过自主研发,外部通过孵化、投资和收并购布局相关技术。

川宁生物以合成生物学研究为核心,布局保健品原料、生物农药板块、高附加值天然产物、高端化妆品原料、生物可降解材料等板块,自建硫氰酸红霉素、头孢系列中间体及熊去氧胆酸粗品生产线,总产能约16000吨/年,主要产品包括硫氰酸红霉素、头孢类中间体(7-ACA、7-ADCA、D-7ACA)、青霉素中间体(6-APA、青霉素G钾盐)、熊去氧胆酸粗品、辅酶Q10菌丝体等。根据公开信息,2023年12月川宁生物一期产线已进入试生产阶段。此外,金城医药基于“化学合成+生物合成双平台”,实现包括合成烟碱、虾青素、莱鲍迪苷M等多项基于合成生物学技术的产品落地,有望成为公司重要增长极。华神科技则在2023年11月通过计划建设“15000吨/年高端新材料和原料药(含医药中间体)绿色生产基地项目(一期)”方案,系列产品包阔戊环吗啉原料药合成的中间体、双氟磺酰亚胺锂、硫酰氟等。此外,生物制造龙头企业华恒生物在维持其在丙氨酸产品的优势的同时,持续开拓新的生物制造产品。公司已实现发酵法D-泛解酸内酯技术,同时扩充高丝族氨基酸、PDO等产品矩阵,并于2022年底定

增募资约 17 亿元于赤峰、秦皇岛建设丁二酸、苹果酸产能。

上市公司也通过投资、孵化等外延的形式布局合成生物制造全产业链。例如，川宁生物在注重内部研发的同时也在进行投资和孵化，旨在进一步扩大其在合成生物领域的布局。华神科技于 2023 年 6 月公告计划收购合成生物公司博浩达生物，博浩达专注于以合成生物法生产肌醇产品，已实现商业化，此收购有望加速推进公司生物制造领域的业务拓展。华东医药全资子公司中美华东，收购核酸原料生产厂家华仁科技 60% 的股权，成为其控股股东。这笔交易是华东医药进一步布局工业微生物板块，即合成生物的底盘方向提供支持。华恒生物于 2022 年 7 月投资武汉睿嘉康。2023 年 2 月，国内长链二元酸绝对龙头凯赛生物也于近日宣布投资 AI 蛋白质设计平台公司分子之心，以期待其 AI 平台应用在凯赛的产线升级及新品研发中。

(二) 一级市场

1. 融资情况表现强劲，生物制造赛道保持了逆势上升的态势

2023年国内一级市场融资情况分析

单位：起



2020-2022 年，国内生物制造企业的投融资事件共计 277 个；目前行业以中早期企业为主：融资轮次方面，我们选取了 A-C 轮的企业，早期（B 轮之前）、成长期（B-C 轮）、后期（C 轮之后）融资事件占比分别为 66.43%、18.41%、15.16%；应用领域以医疗健康为主。

2023 年，整体投融资市场依然保持低迷，而生物制造相关行业延续逆势上升的态势，这表明国内资本市场对生物制造企业持续保持高关注度。据易凯资本内部统计，2023 年全年医疗健康产业完成总交易数量约 1984 件，与 2022 年全年完成 2012 件相比，下降了 1.3%，对比 2021 年的 2895 件下降了 31.4%。而在生物制造领域，2023 年全年中国一级市场生物制造领域融资事件共 110 起，同比 2022 年披露的 100 起，增加了 11%。

从融资阶段角度看，2023 年中国生物制造领域市场融资轮次整体偏早期，B 轮及以前的融资事件 80 起，占比达到 72.7%；从细分领域角度来看，合成生物技术在医疗健康领域的应用仍然占据主要地位，创新药及生物技术是目前主要的应用方向，相关领域融资事件 71 起，占融资总数的 64.5%。而随着资本市场玩家的变化，赛道中活跃的投资人逐渐由财务投资机构向产业投资人、国家队转变。2023 年有 43 起融资事件有政府引导资金或产业资本参与，占总数的 39.1%。

从交易金额角度，2023 年融资事件中交易金额在 1500 万美元或 1 亿人民币及以上的融资事件 40 起，相比 2022 年的 31 起，上升了 29%。超 1.5 亿元以上的重点交易共 22 起：

2023年生物制造产业1.5亿元以上的重大交易

序号	公司名称	融资时间	融资形式	融资规模	一级行业	产品/服务
1	新合新生物	2023/12/15	Pre-IPO轮	数亿元	创新药/生物技术	肽体中间体
2	赛陆医疗	2023/12/1	A轮	数亿元	创新药/生物技术	测序及超分辨空间组学平台
3	泰和伟业	2023/11/29	A+轮	~3亿元	创新药/生物技术	保护氨基酸系列
4	质肽生物	2023/11/27	B+轮	近2亿元	创新药/生物技术	重组蛋白药物创新平台
5	创建医疗	2023/9/16	B轮	>2亿元	创新药/生物技术	重组人胶原蛋白
6	柯泰亚	2023/9/4	B轮	2.5亿元	生物基材料/化学品	高附加值生物基产品
7	益杰立科	2023/8/30	A轮	3,200万美元	创新药/生物技术	基因编辑技术研发商
8	百斯杰生物	2023/5/29	A轮	2.5亿元	创新药/生物技术	工业酶制剂
9	斯微生物	2023/5/26	D轮	数亿元	创新药/生物技术	mRNA疫苗及纳米脂质体包裹递送
10	伟杰信生物	2023/5/22	C轮	数亿元	创新药/生物技术	动物蛋白药
11	博奥明赛	2023/5/18	B轮	2亿元	创新药/生物技术	创新生物大分子药
12	瑞风生物	2023/4/28	Pre-B轮	数亿元	创新药/生物技术	基因合细胞治疗药物
13	典晶生物	2023/2/28	B轮	4,000万美元	创新药/生物技术	眼科产品
14	宜明细胞	2023/4/19	C+轮	1.5亿元	创新药/生物技术	基因药物CDMO平台
15	艾美斐	2023/3/13	B轮	2亿元	创新药/生物技术	新药研发企业
16	嘉晨西海	2023/2/27	A+轮	近亿美元	创新药/生物技术	mRNA疫苗
17	分子之心	2023/2/20	战略投资	数亿元	创新药/生物技术	AI蛋白质设计平台
18	蓝晶微生物	2023/2/15	B+轮	4亿元	生物基材料/化学品	PHA及其衍生物
19	微构工厂	2023/2/2	A+轮	3.59亿元	生物基材料/化学品	PHA及其他高附加值产品
20	至善唯新	2023/2/1	A+轮	2亿元	创新药/生物技术	细胞治疗
21	金斯瑞蓬勃生物	2023/1/18	C轮	2.2亿美元	创新药/生物技术	生物医药研发服务
22	EcoCeres	2023/1/12	B轮	4亿美元	生物基材料/化学品	氢化植物油、可持续航空燃料和纤维素乙醇

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL

易凯资本有限公司

2. 引领者发生变化，国有资本与产业资本成为主要玩家

2023 年，人民币从一级市场参与者升级成当下时日的真正引领者，市场玩家也逐渐从财务投资机构为主，转变为国资、产业资本为主。

国有资本端：2023 年涉及国资/政府引导基金的投资事件 23 起。地方政府也进场扶持生物制造产业。各地政府手握土地、政策以及资金，热衷于面向跨国公司和大企业集团的招商引资，绝大部分的地方政府投资平台都将首先服务于这个目的。而生物制造作为绿色经济下毕竟的发展路径，势必受到地方政府投资平台的大力支持。北京、深圳、河南、常州、无锡等地均设立了生物制造相关专项基金，并且提供了园区、税收等各方面的优惠政策或绿色通道。除了“招商引资”之外，国央企的合作成为另一个重要的关键字，拥有国资背景老股东，或者和国央企有过合作经历的标的，更容易受到国有资本的关注。

产业资本端：2023 年生物制造领域共 20 起融资事件有产业资本的参与，相比 2022 年的 12 起

上升了 75%，涉及的投资人既有国央企也有上市公司，还有早期入局的创新型企业，包括中石油、中化集团、建发集团、凯赛生物、爱美客、蓝晶微生物等。产业资本入局的目的也趋于多元化，包括但不限于财务目的的投资、产业协同、业务转型、潜在的并购等等。

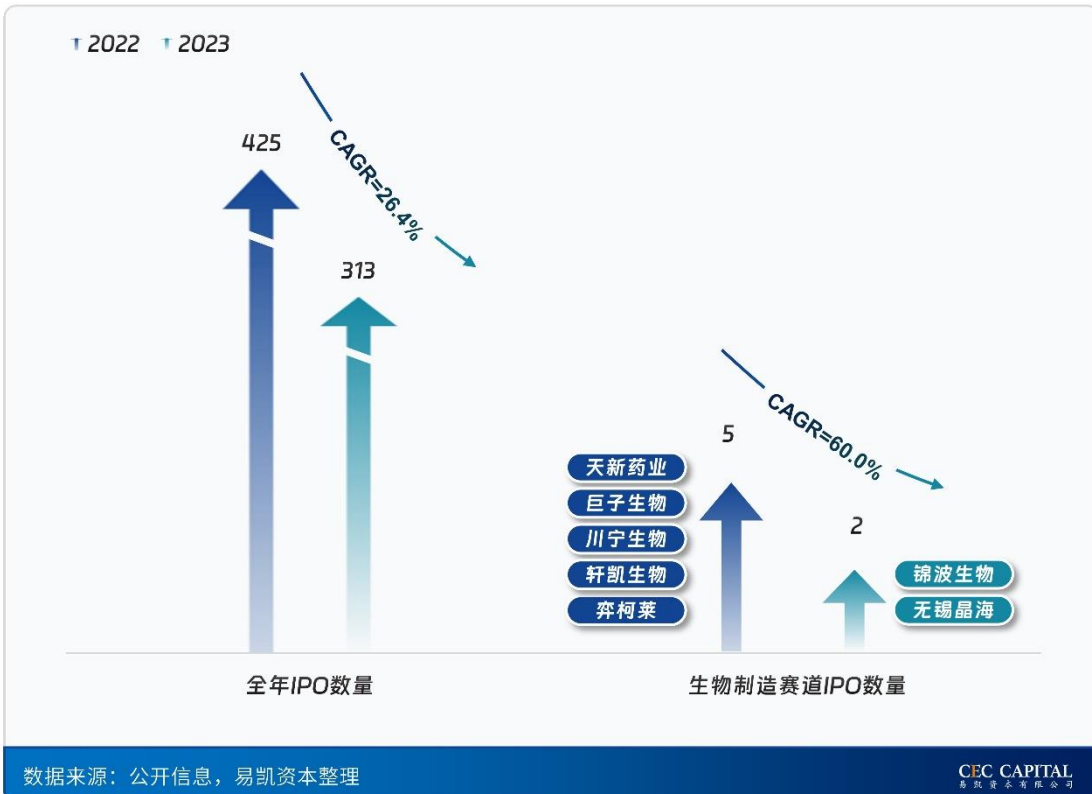
易凯资本认为，在国有资本和产业资本的引领下，生物制造赛道的融资在 2024 年将更加多元化，国有资本以招商引资、扶持产业等方式将更多的热钱注入生物制造赛道，而产业资本则可以更多元化的参与到交易当中。并购、拆分上市、产品的 License out 等交易方式在未来会变得更为常见，一级市场的融资交易的目的和形式越发多样。

3. 国内 IPO 持续收紧，老股转让会成为重要的退出口赋能中国初创企业与投资机构

国内 IPO 发行数量和募资金额从 2022 年起已呈现出下滑的趋势。2023 年 8 月，证监会公告阶段性收紧 IPO 节奏，9 月以来 IPO 募资额呈现断崖式下跌。2023 年全年，A 股与港股合计 IPO 数量 399 起，同比下降 41.6%；A 股首发完成募集资金总额 3565 亿元，同比下降 39.2%。聚焦到生物制造领域，生物制造概念公司的 IPO 事件在 2023 年全年仅有 2 起，对比 2022 年的 5 起下降了 60%，高于 IPO 整体下降的幅度。

2023 年生物制造赛道 IPO 数量大幅下降

单位：起



伴随着上市退出渠道的收紧以及全球金融市场的波动，企业和投资机构面临更大的退出压力，一级市场买方、交易目的、退出方式都在发生极大的变化。并购、重组、分拆和老股转让在未来三年内将成为资本市场关注的重点方向，而过去生物制造赛道热度下带来的 S 资产将成为重要的退出及赋能机会。当前中国 S 资产的交易由多种形态的交易构成，包括 LP 份额转让，GP 主导的以单个项目老股资产或者资产包形式的转让交易，GP 主导的针对 GP 某期在管基金的全部项目、部分项目或单个项目接续基金等。而随着最早一批投资生物制造的基金

逐渐步入退出期，单个项目的老股或者多个项目的资产包交易，有望成为重要的资金退出和赋能方式。在大批政府引导基金的整合或到期的背景下，多方开始以直接或间接买方形式参与 S 资产的交易。而由于部分国资在老股受让上收到严格限制，投资方未必以直接挂名 S 基金的形式出现，而是赋予各类投资平台新的 S 资产投资策略。

三、2024 年最重要的投资主题

(一) 从“替代”到“颠覆”，生物制造产业化的核心环节从产品替代开始，逐步走向部分传统行业的颠覆

1. 上游技术发展逐步颠覆下游应用环节

生物制造产业链环节



第一，微生物底盘库是生物制造可持续发展的保障

在生物制造领域，微生物菌株在工业、农业、环境及健康等不同领域的广泛应用有着悠久的历史 and 越来越重要的作用，是现代工业生物技术的核心。其中，多样性的微生物库和菌种资源及其相关基因库是生物制造领域的底层“硬件”，通过海量底层“硬件”库中筛选挖掘关键生物催化元件-酶及基因编辑系统，构建生物制造产业的生物催化系统及工程菌株“CPU”，实现低碳绿色生物制造。随着合成生物学技术发展与应用，研究人员逐渐从利用自然界分离得到的自然菌株或菌群过渡到结合以诱变或/和自然进化为主要手段的方式，及基于合成生物学技术对于模式微生物底盘重编程的工程菌株设计构建。在此方向上，以慕恩生物为例，目前已建立全球最大、生物多样性最高的微生物菌种资源库和基因库。慕恩生物已经发现、保存和鉴定了超 25 万株具有自主知识产权的微生物菌株，能够快速筛选获得最具有核心竞争力的菌株

/菌种并工业化生产形成产品。同时，慕恩生物通过利用菌种资源库和基因库这一底层“硬件”系统，可实现关键元件进化筛选、代谢途径设计重构、底盘形态和性能重塑等研究，构建生物催化系统或工程菌株提升高值化合物生产发酵水平和应用性能，掌握创制新一代的工业菌种“CPU”的核心技术。慕恩生物已在多个应用领域，如生物农业、医疗保健与饲料食品取得阶段性成果，产品率先进入商业化阶段。预计在未来3-5年，当生物制造发展由现阶段的追求创新型产品进化到拼产品成本的阶段后，微生物底盘的迭代会是未来发展需要面临的关键问题。

第二，基因编辑作为上游技术构建生物制造企业的技术壁垒

合成生物学关键的底层技术，包括基因的读（DNA测序）、改（DNA编辑）、写（DNA合成），菌株的选择与改造等。基因测序、基因合成和基因编辑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。基因编辑等核心技术的成本下降是推动合成生物行业发展的重要驱动力。

在基因编辑领域，以CRISPR/Cas9为代表的技术正引领一场基因编辑的革命。基因编辑技术共分为三代，其中第三代CRISPR/Cas9采用RNA-DNA识别模式，具有广泛的切割位点，基因编辑效率超过30%，已基本逐步替代前两代锌指蛋白核酸酶（ZFN）和类转录激活因子效应物核酸酶（TALEN）技术。2022年9月，Vertex公司和CRISPR Therapeutics启动了CRISPR/Cas9体外基因编辑疗法Exagamglogene Autotemcel（Exa-cel, CASGEVY™）的上市申请，并于2023年11月16日由英国药品监管机构MHRA正式批准其有条件上市，用于治疗镰状细胞病（SCD）和输血依赖性 β -地中海贫血（TDT）。这是全球首款获批上市的CRISPR/Cas9基因编辑疗法药物。此外，中国在基因编辑的底层专利严重缺位，核心专利及底层技术被美国垄断，意味着使用现有基因编辑技术从事任何产品的商业化开发和应用将会受到极大限制，如何解决基因编辑技术的卡脖子问题是国家发展和战略布局的迫切需求。在这一点上，国内如贝斯生物等企业正推出新一代，绕过了美国的Cas9和碱基编辑专利，更高效、零脱靶的新一代碱基编辑技术，以期更好地解决基因编辑产品脱靶安全性问题。

在细胞代谢途径的构建和改造中，基因编辑技术被广泛使用，不仅开发和设计出了新的基因编辑元件、工具和基因线路，还成功地应用于微生物细胞底盘的构建。**易凯资本认为，具备技术优化和迭代能力、能够提供更加精确、灵活且具有成本优势的基因编辑服务商以及CDMO公司将在未来3-5年随着生物制造产业的成熟，逐渐成为焦点。**

第三，基因合成技术的持续发展将进一步为上游技术服务企业带来发展机会

基因合成方面，过去20年中，合成长片段基因的成本下降了接近1000倍。目前已经成熟的柱式合成法存在依赖于危险试剂和溶剂，同时效率、通量低下，成本较高等问题。超高通量芯片合成技术以芯片作为DNA合成的固相载体，一次可合成十余万条寡核苷酸，成本可以低至柱式合成的1/10000，是基因合成领域的重要趋势。在该领域，芯宿科技率先提出并自主研发了国内首款电化学合成芯片，在短链DNA合成方面极具潜力，开启了国内以硅基芯片驱动生物技术半导体化的创新趋势；金斯瑞2022年通过收购Customaray推出了业界最高通量的DNA合成平台，该平台搭载4个高通量半导体芯片，能够1次合成超过57亿个寡核苷酸。第三代酶法长链DNA合成技术，国外已实现长链DNA合成POC，并在近期开始实现商业化突破，2021年DNA Script推出世界首台采用酶促技术的台式DNA打印机SYNYAX平台，并于2022年实现初步商业化推广。目前，DNA长链合成能力已集中在专业试剂制造商中。Agilent Technologies、GenScript、Integrated DNA Technologies、ThermoFisher、TriLink、Dharmacon、Twist Bioscience等领先供应商按需生产各种格式的定制DNA（和RNA）。在国内，中合基因首次开发鸟类来源高效的工程化TdT酶，在此基础上于2022年7月完成国内首台DNA生物合成仪原理样机开发，实现合成长度50nt，单步合成准确率99%。

易凯资本认为，随着DNA合成技术的进步，DNA合成的成本及门槛都会进一步降低，

更多的专业化、低成本、高质量 DNA 合成服务商将会涌现，为生物制造产业的发展提供支持与服务。

第四，分子酶和工业酶的“国产替代”

分子酶作为分子检测试剂最核心的部分，包括 DNA 聚合酶、逆转录酶、UNG 酶等。由于技术门槛较高，分子酶长期被罗氏、赛默飞、宝生物、伯乐等进口品牌主导。数据显示，国内公司包括翌圣生物、康为世纪等市场率均不足 5%，国产替代进度较慢。其中，技术难度高、客户对质量稳定性要求较高成为替代缓慢的主要原因，下游客户更倾向于原料性能突出，产品批间差小，稳定的进口原材料供应商。

工业酶作为生物催化中的重要环节，获取性能稳定、成本低廉的酶是下游产品类企业的刚需，常见的工业酶包括蛋白酶、脂肪酶、溶菌酶、各类差相异构酶等，目前 75% 以上的工业酶市场份额被诺维信、杜邦、Codexis 等海外龙头公司垄断。诺维信是全球工业酶制剂龙头，公司拥有全球最大的宿主库之一，开发了具有自主知识产权保护的木霉、黑曲霉和芽孢表达系统，可以提供各种高产率的微生物，提供庞大的酶、蛋白质和微生物产品，并受到专利和商业机密的双重保护。在蛋白质工程改造技术方面，诺维信通过蛋白质工程技术，对大部分酶产品等进行了改性，提高了酶的耐温性、耐酸性、蛋白酶性和酶活性等性能，并开发了饱和突变技术、分子进化技术等蛋白质改性技术，其中许多关键酶的绝大多数氨基酸位点通过专利保护形成壁垒。诺维信在发酵、供应链和放大生产方面技术领先，能够在保证成本效益的情况下进行商业化规模的生产。国内，酶赛生物围绕蛋白质工程（酶的定向进化技术）和代谢类多酶串联工程，搭建了自己的合成生物学平台，用以满足在医药中间体、工业化学品、食品保健品、材料、医美等多个领域均有不断增长的需求；领航生物构建了系统而高效的酶催化生物合成平台，已有多个产品实现了商业化量产，此外，其还拥有着 20 余种新产品的研发管线。

易凯资本认为，分子酶与工业酶存在巨大的国产替代空间，而酶的开发、改造、生产都存在较高的技术壁垒，对国内公司提出了较大的挑战。如何提高自身研发能力、如何保证产品的稳定性等方面是国内的分子酶和工业酶产业实现高效化、准确化进步的关键。

第五，基于产物的无细胞生产体系，突破活体底盘概念

现有的蛋白质表达技术通常是活细胞系统，包括原核细胞系统，如大肠杆菌、链霉菌、枯草芽孢杆菌等，和真核细胞系统，如昆虫、酵母、哺乳动物细胞。得益于成熟的细胞培养技术和转基因技术（转入蛋白表达载体），这些基于活细胞的表达系统在蛋白质纯化中已经广泛应用。然而，活细胞表达系统的主要劣势在于：1) 表达量受限：活细胞的能量中大部分被用于自身的繁殖和扩增；2) 受限于纯化技术：细胞破壁后进行蛋白质表达，会破坏蛋白质结构；3) 某些蛋白具有细胞毒性：如肉毒毒素这类神经毒素蛋白，表达过程中会导致细胞死亡。基于这些方面，无细胞蛋白质合成（cell-free protein synthesis, CFPS）系统，正逐渐进入商业化应用。CFPS 是一种快速而且能高通量表达目标蛋白质的技术，是以外源 DNA 或 mRNA 为模板，在细胞裂解液提供多种酶的作用下通过补充底物和能量物质来实现蛋白质的体外合成。在这一方面，国内代表性企业如康码生物，其研发出了 D2P 无细胞蛋白质合成技术，开发出全球首套无细胞蛋白质合成生物反应器，大幅提高蛋白合成效率，推动蛋白质合成产业化。

第六，上游原料和中游生产耗材，作为“卖水人”收益相对有保障

除技术及服务领域外，生物制造产业链上游所涉及的氨基酸、核酸等原料、分离纯化耗材等领域亦有望在产业发展推动下率先获益。比如生物医药领域 GLP-1 类药物和小核酸药物等市场规模高速增长将带动固相合成载体和相关树脂、色谱填料等方面的需求。外资巨头产品线完整、技术领先，国内厂商是追赶者。以吸附分离材料为例，从全球产能分布情况来看，境外产能约占全球产能的 53%，其中美国陶氏化学、德国朗盛、美国漂莱特、日本三菱化学、住友化学等跨国企业的产能合计占全球的 46%。外资企业凭借产品线完整、技术领先，具备先发优

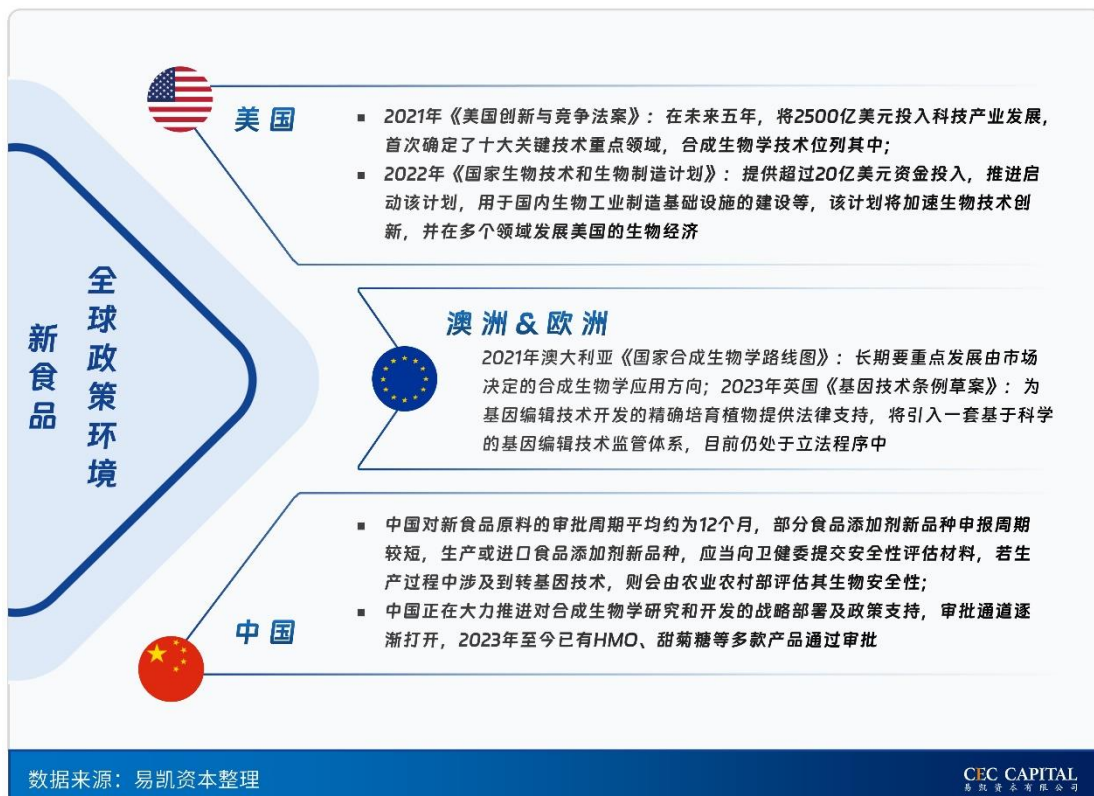
势，在高端市场占据大部份市场份额。国内企业如蓝晓科技、纳微科技正通过产品品质、工艺稳定、客户黏性方面的先发优势逐步缩小和国际巨头的差距。作为生物合成制造产业化的关键步骤，产品的分离提纯成本占到总成本的 60%以上，高附加值产品的分离成本甚至可以达到 90%。易凯资本认为，上游和中游领域存在巨大的国产替代空间，预计 2033 年将达到 277 亿元。以国内客户的需求为导向，拥有较强的工艺技术水平、长期的经验积累和较强的新产品开发能力的企业，有望在生物制造浪潮中逐步和国际巨头形成竞争。

2. 值得关注的生物制造下游产品赛道—食品添加剂

合成生物技术可将生物质原料转化为食品重要组分、功能性食品添加剂等。这是解决食品领域所面临的可持续、环保等问题的重要途径，也可以颠覆现有的食品生产与加工的方式。在食品领域的应用涵盖肉类、乳制品、功能性饮料、调味剂和其他食品添加剂等多个方向。2022 年，我国食品添加剂主要品种销售额达到 1441 亿元，利用合成生物学生产的添加剂占比预计到 2022 年为 5%，销售额约 86 亿元。

目前我国合成生物技术在食品领域应用的细分赛道内，主要玩家大多集中在合成新型食品添加剂等细分赛道，其底层选品逻辑依旧是从市场空间广阔维度和快速上量。采用合成生物技术，一方面可以以更优的生物生产工艺替代天然提取或化学合成，以期获得更高的产量、更低的成本、更广泛的应用；另一方面可以合成新型的功能性添加剂产品，构建新的产业链。

中国食品政策监管配合战略部署逐步放开



法规层面，中国对新兴食品的审批和监管仍然保持严格的。在我国，新兴食品原料的平均审批周期约为 12 个月，而涉及到合成生物相关产品的审批首先需要由农业农村部对其生物安全性进行评估。随着国家对生物制造战略的重视程度日益提高，国内监管与审批的壁垒也在逐

步被打破。2020 年支持建设合成生物创新中心、2022 年提出“探索新型食品，实现食品工业化迭代升级，降低传统养殖环境资源压力”、2022 年转基因来源的食品营养强化剂公开征求意见等菌展现出对合成生物技术主导的新食品的政策利好态势。HMO 审批通过更表明生物合成食品添加剂产品在国内获得重大进展。2024 年 3 月 13 日，国家卫生健康委员会发布公告，批准了多款食品添加剂，其中，弈柯莱生物自主研发的甜菊糖苷（酶转化法）成功通过审批，成为国内首家。另外，公告显示 2'-岩藻糖基乳糖（2'-FL）的安全性评估材料审查通过，这标志着又一款 2'-FL 被中国法规批准。2023 年 5 月和 2024 年 4 月，两个不同供体的 D-阿洛酮糖-3-差向异构酶获批成为食品加工用酶制剂，对“D-阿洛酮糖”安全合规进入食品添加剂领域具有里程碑式的意义。随着合成生物技术的迅猛发展，新型食品添加剂的产业化开辟了一条新的道路。近期，众多生物合成的产品获得批准，且产品生产菌株包括大肠杆菌、谷氨酸棒杆菌等不同类型的活细胞底盘，这不仅对重塑产业链具有重大意义，也标志着生物合成路径的产品正逐步走向合规化。

易凯资本认为，伴随着 2023 年监管政策进一步放开和消费者认知的进一步打开，合成生物技术在食品领域应用的未来前景将愈加明朗，其中功能性、零卡食品添加剂等领域有望成为 2024 年新一轮投资热点。

在功能性食品添加剂领域，随着越来越多的功能性成份的代谢途径被“开启”，合成生物技术已广泛应用于类胡萝卜素（如番茄红素、β-胡萝卜素和虾青素）、甲萘醌-7（维生素 K2）、叶黄素和母乳低聚糖（HMO）等功能性食品的生物合成。HMOs（母乳低聚糖）是母乳中天然存在的聚合度 ≥ 3 的低聚糖统称，在母乳中是仅次于乳糖和脂肪的第三大固体成分，含量超过蛋白质，已作为功能性添加剂受到婴儿配方奶粉行业关注与重视。HMO 已获得欧洲、美国等主流市场监管机构认可，帝斯曼集团 2020 年宣布耗资 7.65 亿欧元收购丹麦 HMOs 领导企业 Glycom，雅培、雀巢等国际龙头公司均已推出多款含 HMO 的婴配奶粉。2023 年 10 月，中国国家卫健委官网发布《关于桃胶等 15 种“三新食品”的公告》（2023 年第 8 号），并进行了解读。其中：母乳低聚糖（HMO）成分，2'-岩藻糖基乳糖以及乳糖-N-新四糖作为食品添加剂新品种，安全性评估材料进行审查并通过，帝斯曼、IFF、虹摹生物成为国内首批获批的企业，其中由蒙牛和弈柯莱生物合资成立的生物制造公司虹摹生物是首个获批的中国本土企业。2024 年 3 月，国家卫生健康委食品安全标准与检测评估司再发公告，又一款 2'-岩藻糖基乳糖（2'-FL）获批，这是 HMOs 在国内的第二次获批，一兮生物成为又一家正式获批的国内企业。截至目前，国家卫健委共受理 2'-岩藻糖基乳糖（2'-FL）16 次，3'-唾液乳糖钠盐（3'-SL）3 次，6'-唾液乳糖钠盐（6'-SL）2 次，乳糖-N-新四糖（LNnT）1 次，3-岩藻糖基乳糖（3-FL）1 次，乳糖-N-四糖（LNT）1 次，目前，相关审批工作正在积极有序地推进，未来有望在婴儿配方奶粉中科学地添加和应用更多的 HMOs 成分，从而使婴儿配方奶粉的成分和功能更加接近母乳。而随着国内 HMOs 的获批，飞鹤、君乐宝、伊利随即推出了添加 HMO 的儿童奶粉，可预见行业将迎来一波婴幼儿奶粉配方的革新。

另一极富潜力的应用方向为低热量的食品添加剂。合成生物技术也拓展到香料、甜味蛋白和甜味剂，用细胞工厂生产甜菊糖苷、阿洛酮糖等天然甜味剂对比传统的生产方式展现出了显著优势。

各类甜味剂对比分析

所属类别	名称	甜度 (相较于蔗糖)	卡路里	口感及特性	安全性	对使用量的规定	国内审批情况	生产方式
天然甜味剂	阿洛酮糖	0.7	0	与蔗糖接近、柔和细致，可产生美拉德反应，应用范围可拓展至烘焙、冰淇淋、特医食品等	安全，有抗肥胖和抗糖尿病的作用	不受限制	未获批	生物法
	赤藓糖醇	0.6-0.7	0	纯正、无后苦味	安全性较好，但过多食用会产生腹泻	不受限制	获批	生物法
	木糖醇	1	2	甜度接近蔗糖	安全性较好，可以减少血浆脂肪酸的产生，但大量使用不利于糖尿病的治疗	不受限制	获批	生物法
	甜菊糖苷	250-400	0	口味接近砂糖，有后苦味	各国对甜菊糖苷在食品中的添加及其安全性存在一定争议	受一定限制	未获批	生物法
人工甜味剂	阿斯巴甜	200	4	口味纯正，价格低	曾被FDA拒绝批准使用，2023年7月WHO正式宣布阿斯巴甜致癌	受限制	获批	化学合成
	安赛蜜	200	4	金属味和后苦味	安全性较高，联合国及世卫组织同意将其列入A类食品添加剂，部分人群可能有过敏反应	受一定限制	获批	化学合成
	三氯蔗糖	600	0	较纯正	安全性较好，无显著不良反应报告	受一定限制	获批	化学合成
	纽甜	7,000-13,000	10	甜度高、成本低	安全性较好，无显著不良反应报告	严格用量限制	获批	化学合成

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

以阿洛酮糖为例，阿洛酮糖是自然界中天然存在但含量极少的一种单糖，是天然稀少糖的代表，其甜味与蔗糖类似，但几乎没有热量，且可与食物发生美拉德反应（炒糖色、烘焙），研究还发现阿洛酮糖可促使胰岛素正常分泌，降低肠道对葡萄糖的吸收。阿洛酮糖可广泛应用于厨房烹饪、乳制品、饮料、烘焙等领域，被认为是最具潜力的新一代“健康糖”。根据 Innova Market Insights 调查结果显示，从2014年到2018年，含有阿洛酮糖的食品和饮料上市数量年均增长率为45%。传统的酶转化法面临着转化率偏低、分离提纯困难等问题，导致成本居高不下，限制了其市场应用。微元基于合成生物研发平台，全球独家开发了发酵法阿洛酮糖生物制造技术。通过从自然界寻找合适的基因，借助AI设计、基因模块化组装、酶分子改造与筛选等策略，将全新的阿洛酮糖合成途径整合入GRAS菌株，实现了以葡萄糖或粗蔗糖为原料，高效率发酵生产阿洛酮糖，无需复杂的色谱分离就能结晶出产品。由于生产过程与很多传统发酵产品类似，微元开发的阿洛酮糖的全新生物制造技术可以盘活国内庞大的发酵产能，极大地降低阿洛酮糖的生产成本，为阿洛酮糖成为继蔗糖和果葡糖浆之后第三款被广泛使用的大宗糖打下基础。根据嘉吉年度市场调研报告Trend Tracker 2023显示，超过75%的亚太地区消费者有减糖的需求，这已成为消费升级的热门趋势，从2017年到2022年，减糖新产品的发布以平均每年约12%的速度增长，2021年至2022年全球发布的新产品中有2%标记了减糖主张。我们认为，合成生物技术生产新一代健康糖将成为近年来新食品原料的重要发展方向之一。

3. 值得关注的生物制造下游赛道—替代蛋白、氨基酸

正如前文所提到的，“大食物观”拓展了传统的食物边界，“新食品”应运而生，要从耕地资源生产食物，转变为全方位、多途径开发食物资源，向植物、动物、微生物等要热量要蛋

白。创新蛋白来源、食品原料和食品工业配料，开发用于食品生产的细胞工厂，拓展食品边界，成为“新食品”的关键推动力。现有的食物蛋白主要依赖于养殖业和种植业，存在环境污染、土地占用和用水较多等问题。传统的蛋白质生产方式可能难以满足未来人类的生产和生活需求，同时也难以实现环保和资源节约等可持续发展。

在此背景下，食品产业一直在探索更大规模、更低成本、可持续的新型蛋白质生产方式。其中，替代蛋白是一种有效且可行的解决办法，也是未来食品研发的重要方向。替代蛋白市场处于发展初期，截至 2020 年替代蛋白市场仅占全球蛋白质零售市场的 2%，据波士顿咨询数据，预计 2035 年替代蛋白会占到全球蛋白质消费的 11%-22%。

目前主要替代蛋白研究方向主要包括高附加值蛋白与微生物蛋白。高附加值蛋白，主要包括乳蛋白、卵蛋白、血红素类蛋白以及乳铁蛋白等，高附加值蛋白在当前阶段具有较大的市场竞争力，同时，食品作为大众消费品，无法做到持续的高利润空间，当市场空间充分打开后，势必迎来同类产品的价格竞争。微生物蛋白是蛋白质来源的新渠道，微生物菌体来源的蛋白具有生长参数稳定、培养基物质高效利用、不需要杀虫剂或抗生素等优势，微生物物质比动植物更有经济价值。微生物蛋白作为规模化替代蛋白产品，大多以真菌蛋白为主，产品以品质改善和蛋白补充原料供应为短期内的产品形态。

国内外的投资机构均对替代蛋白行业抱有高度热情，2024 年初，贝佐斯地球基金宣布将斥资 6000 万美元建立贝索斯可持续蛋白质中心，这属于贝索斯地球基金 10 亿美元用于粮食转型项目的一部分。该中心中心通过推进科学技术进步降低生产成本、提高质量和味道以及增加替代蛋白质的营养价值。

此外，氨基酸相对食品行业的蛋白替代起步更早，发展更成熟。国内氨基酸有充沛的产能。氨基酸、维生素和矿物质属于三大饲料添加剂，是构成动物营养所需蛋白质的基本物质，被广泛用于畜产饲料中作为营养补充剂和生长发育促进剂，也可用于健康食品、膳食补充剂、医药产品、人工甜味剂和化妆品等市场。大宗饲料添加剂氨基酸主要包括蛋氨酸、赖氨酸和苏氨酸等。2022 年，我国大品种氨基酸如赖氨酸产量 255 万吨，净出口 144 万吨，国内用量约 100 万吨；蛋氨酸产量 44.3 万吨，用量 40 万吨；苏氨酸产量 84 万吨、净出口 54.5 万吨。

氨基酸及有机酸品类

分类	品种	应用领域
大品种氨基酸	谷氨酸	食品、医药、工业材料
	赖氨酸	医药、营养物质、化妆品
	苏氨酸	饲料、营养添加剂、医药
	甘氨酸	食品
	蛋氨酸	饲料
小品种氨基酸	半胱氨酸	化妆品、食品、医药
	丙氨酸	食品、医药、化妆品
	苯丙氨酸	食品、饲料
	谷氨酰胺	食品
	精氨酸	医药、食品
	丝氨酸	化妆品、食品
	亮氨酸	医药、食品、营养添加剂
	异亮氨酸	医药、食品、营养添加剂
非天然氨基酸	缬氨酸	医药、食品、营养添加剂
	Boc-Deg-OH	肽类、类肽类药物合成
	2-氯苯丙氨酸	肽类、类肽类药物合成

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

蛋白质作为重要的食物来源以及饲料来源，其在整个经济链条上具备不可或缺的重要地位。目前国内市场尚处发展初期，但随着中国肉类、与饲料原料消费的不断增长，替代蛋白可填补中国未来蛋白质缺口。

4. 值得关注的生物制造下游产品赛道—香精香料

香料 (Perfume) 是一种能够通过嗅觉感知的芳香物质，而香精 (Fragrance) 则是由各种单一的香料组合而成的复合香气。人类使用香料的历史已有超过 5000 年，自 19 世纪以来，全球香料工业得到了迅速的发展，从食品到日用品，人们越来越离不开各种香料成分。全球香精香料市场保持稳定增长，2018 年，全球香精香料市场收入在 276 亿美元；而来到 2022 年，全球香精香料收入增长至 292 亿美元。其中，亚洲市场占到了全球市场份额的 40%。

目前，香精香料生产的主要方式是香料植物的天然提取或化工产品的化学合成。合成香料的原料来源广泛，生产成本较低，毛利率在 20-40% 之间浮动；而天然香料主要来自于香料植物，资源有限，易受到耕地、气候等各方面影响，导致生产成本和附加值均较高，毛利率在 30-50% 之间。香精香料生产所需的技术研发要求高，产品的附加值也相对较高，其中烟草香精毛利率高达到 70%-80%。

香精香料产业生产链及利润率对比



近年来，随着居民生活水平的提高和对身体健康的关注度不断增强，全球食品饮料行业趋向生产更多由天然原料制成的产品，天然香料的需求呈不断上升的趋势，逐渐成为了香精公司未来发展重点布局的产业。然而，香料植物容易受自然界气候影响，年产出均衡，造成原材料供应量和价格不稳定。合成生物技术正逐渐成为一种重要的香料生产技术，通过微生物发酵实现香料更稳定、更高效的生产，同时由于拜托了耕种、花期、亩产的影响，其生产成本可降低50%以上。

除了天然提取和化学合成，生物合成技术已成为国际香料龙头企业的关注焦点。这些企业正通过收购、合作开发和内部孵化等多种方式，积极布局合成生物技术在香精香料生产领域的应用。2019年，巴斯夫（BASF）收购了荷兰生物技术企业 Isobionics，新增了巴伦西亚橘烯、圆柚酮等10种发酵技术香料产品；同年巴斯夫与生物科技公司 Conagen 签署了合作协议，生产天然发酵香兰素。2020年，奇华顿（Givaudan）收购了法国生物科技公司 Alderys，同时与酶制剂供应商诺维信（Novozymes）达成研究合作，探索食品和清洁领域的可持续解决方案。2021年，帝斯曼（DSM）收购美国生物技术公司 Amyris 的香精和香水业务，该交易将为帝斯曼现有的个人护理和香气成分活动中增加7种中间产品，扩大其在香精香料和化妆品行业的生物基成分的产品。国内新和成同样在积极探索合成生物技术在香精香料工业中的应用。新和成目前拥有丰富的香精香料品种，主要包括芳樟醇、柠檬醛、叶醇、二氢茉莉酮酸甲酯、覆盆子酮等，并依托化学合成与生物发酵两大技术平台不断推出一体化、系列化、协同化香料新品种，拓展香茅萜、β-苯乙醇、桃醛、柠檬萜、L-薄荷醇等品类。

易凯资本认为，随着天然香料的需求逐年提升，生态环境压力下原料供应的稳定性成为香精香料产业关注的重点。合成生物技术正逐渐成为天然提取与化学合成之外的又一香料重要生产技术。

5. 值得关注的生物制造下游产品赛道—生物基材料

合成生物技术通过以可再生的生物质材料为原料，对石油、煤炭、天然气等不可再生资源进行替代，可提供环保、可持续发展的化工产品制造方法，能较大程度改变和颠覆以化石能源为基础的传统化工制造体系。而经过生物合成技术改良或优化的新型材料又被统称为生物基材料，其又可根据市场需求量/产量的大小分为大宗商品、特色商品与定制商品，对应的量产级别分别为千吨/万吨级、吨级、千克级；对应价格依次提高，大宗商品的定价往往在每千克几十元或百元，定制产品每千克或可高达数万元。其中，生物基材料作为行业关注的焦点，受到了广泛的关注。

生物基材料 (Bio-based Materials)，是指利用可再生的生物质为原料 (包括谷物、豆科、秸秆、动物皮毛等)，制造的一类材料或其单体。按照产品属性，生物基材料可分为生物基聚合物、生物基塑料、生物基化学纤维、生物基橡胶、生物基涂料、生物基助剂、生物基复合材料等。

生物基材料产业是一片广阔新蓝海，据全球经济合作与发展组织 (OECD) 预计，目前生物基材料的替代率不到 5%，潜在的替代规模接近 6000 亿美元。中国生物基材料正处于科研开发走向产业化规模应用关键时期。近年来，我国生物基材料市场规模持续扩张，由 2014 年的 96.9 亿元增长至 2021 年的 199.2 亿元，CAGR 为 10.9%。2021 年，中国生物基材料产量 700 万吨、产值超过 1500 亿元，占化工行业总产值的 2.3%，并在塑料制品、纺织纤维、医药器械、涂料、农业物资、表面活性剂等方面得到广泛应用。

生物基材料分类

大类	生物基产品子类	涉及化合物及聚合物
生物基塑料	可生物降解	聚己二酸 (PBAT)、聚丁二酸丁二醇酯 (PBS)、聚乳酸 (PLA)、聚羟基烷酸酯 (PHA)、聚己内酯 (PCL) 等
	不可生物降解	聚氨酯 (PU)、聚对苯二甲酸丙二醇酯 (PET)、聚对苯二甲酸丙二酯 (PTT)、聚乙烯 (PE)、聚酰胺 (PA)
生物基纤维	海洋生物基纤维	海藻盐酸纤维、卡拉胶纤维、壳聚糖纤维
	生物基可再生纤维	柠檬烯、黄原胶、月桂醇、乙氧基化脂肪醇、硬脂醇、N-乙酰氨基葡萄糖、香兰素、萜类化合物等
	生物基合成纤维	聚乳酸纤维 (PLA)、聚己内酯 (PCL)、生物基 PTT、生物基 PEF、系列生物基聚酰胺、生物基 PDT、生物基 PET
生物基橡胶	生物基合成橡胶	衣康酸酯、生物基可降解聚酯橡胶
生物基涂料	/	生物基改性沥青卷材、生物基高分子防水卷材、生物基防水涂料
生物基复合材料	/	至少一种成分来源于生物质的生物基纤维复合材料
生物基助剂	生物基阻燃剂	含纤维素阻燃剂、含木质素阻燃剂、含壳聚糖阻燃剂、含植酸阻燃剂、含环糊精阻燃剂、含淀粉阻燃剂
	其他助剂	生物基表面活性剂、生物基润滑剂、生物基增塑剂、生物基胶黏剂、生物基清洁剂
生物基染料	/	生物基紫罗兰素及其衍生物、微生物染料

数据来源：易凯资本整理

CEC CAPITAL
易凯资本有限公司

生物基可降解塑料是生物基材料应用最早被接受的应用场景之一，根据 Markets and

Markets 预测,全球生物塑料市场到 2026 年将达到 297 亿美元(2057 亿 RMB),CAGR 为 22.7%,增长主要归功于中国、印度和印尼等亚太地区。

生物基可降解塑料的代表产物是聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)等,具有环境友好、原料可再生、可生物降解等特性。PLA 自 1954 年杜邦公司开始研究生产至今,已成为产业化最成熟、产量最大、应用最广泛的生物基可降解塑料。国内中科院系及传统制造公司如河北华丹、丰原股份、浙江海正、金丹科技等成为领域内的主要玩家。PHA 为生物基可降解塑料领域更新的业态,是唯一能在海洋和土壤中快速降解的材料,同时拥有优异的化学性能。PHA 产品的合成与商业化已历经四次迭代,目前使用革兰氏阴性菌、嗜盐单胞菌等作为底盘细胞的生物合成法已成为主流合成方法。微构工场于 2023 年官宣多项合作,包括与恒鑫生活签署 PHA 吸管和淋膜以及注塑制品合作订单、与光华伟业达成深度合作探索 PHA 在 3D 打印中的应用、与苏尔寿合作探索 PHA 的工艺与产效提升等。总体而言,PHA 作为一种全新的业态在商业化层面仍然处于探索阶段。

其他代表性的生物基材料包括生物基聚酰胺(PA),聚酰胺具有良好的力学性能,在工业上广泛应用于电子电器、汽车、力学组件等等,生物法制造长链二元酸、生物基戊二胺、生物基聚酰胺等产品的技术开发和产业化往往需要大量的时间,且失败率极高,投资规模大,具有显著的技术壁垒。凯赛生物在生物法长链二元酸、生物基戊二胺和生物基聚酰胺行业竞争中的优势地位较为突出,其基于自产的生物基戊二胺与二元酸的缩聚得到生物基聚酰胺产品,如聚酰胺-56(PA56)。

1,3-丙二醇(PDO)生产 PTT 聚酯纤维的重要原料,PTT 聚酯可用来生产 PTT 纤维进而应用于服装、地毯等行业。上世纪 90 年代壳牌(Shell)等国际材料巨头使用化学法生产 PDO;2005 年后,由于全球石油能源价格上涨,加之原料不可再生,生物发酵法通过成本优势逐渐淘汰化学法。生物法生产 PDO 以甘油或葡萄糖为原料,反应条件温和、过程绿色无污染、生产成本低、产物易于分离,杜邦公司(Dupont)是生物法生产 PDO 的典型代表。杜邦开发了以葡萄糖为底物在基因工程菌的作用下以一步法生产 1,3-PDO 的技术,并且将产量提升至 126g/L 以上,接近细胞极限,大大降低生产成本,开创了生物发酵法制备 PDO 产业化技术的先河,在 PDO 领域保持 20 年的垄断。2022 年,杜邦将旗下的生物及业务出售给华峰集团。国内清大智兴团队较早开发了以甘油为底物生物法生产 PDO 的技术,2017 年底精甘油价格上涨到七千多元/吨,为应对原材料价格波动导致生产成本上升,团队对技术进行了持续的迭代。当前,清大智兴已掌握“甘油+糖多原料 PDO 发酵技术”,并成功实现产业化。

1,4-丁二醇(BDO)是另一种极富潜力的平台分子,广泛应用于氨纶、可降解塑料、聚氨酯、鞋材、新能源电池等众多领域。生产 BDO 的传统方法为石油基路线的电石炔醛法工艺,生产过程中能耗较高。生物法路线合成 BDO 反应条件温和、原料来源丰富,具备良好的可持续发展前景。生物法生产 BDO 的工艺分为一步法和两步法。一步法也叫直接发酵法,通过微生物的发酵将糖类物质直接转化为 BDO。一步法生产工艺主要由 Genomatica 公司掌握,它通过在筛选过的大肠杆菌群中引入一个或多个编码 DNA 使其具有 4-HBCoA 或腐胺途径酶,从而满足 BDO 生物合成的代谢设计。此外,Genomatica 还发明了一种用于增强甲醇还原当量的代谢途径,通过提高还原用甲醇当量从而进一步提高 BDO 的产率。两步法利用微生物发酵将葡萄糖转化为丁二酸,再用生成的生物基丁二酸来生产 BDO,工艺主要由中国科学院、清华大学等科研院所研发。目前,全球生物基 BDO 产能为 7.5 万吨/年左右。海外厂商分别为意大利 Novamont 和德国巴斯夫,产能均为 3 万吨/年,均采用 Genomatica 公司研发的一步法生产工艺,其生产的生物基 BDO 并不对外出售,仅供自身用于制造生物基 PBAT。山东元利化学 1.5 万吨/年的生物基 BDO 产线已投产,所使用的原料生物基丁二酸采购于山东兰典生物科技。美国嘉吉、韩国晓星集团、国内的金发科技等企业均在布局生物基 BDO 产能,计划于 2024、

2025 年陆续投产。

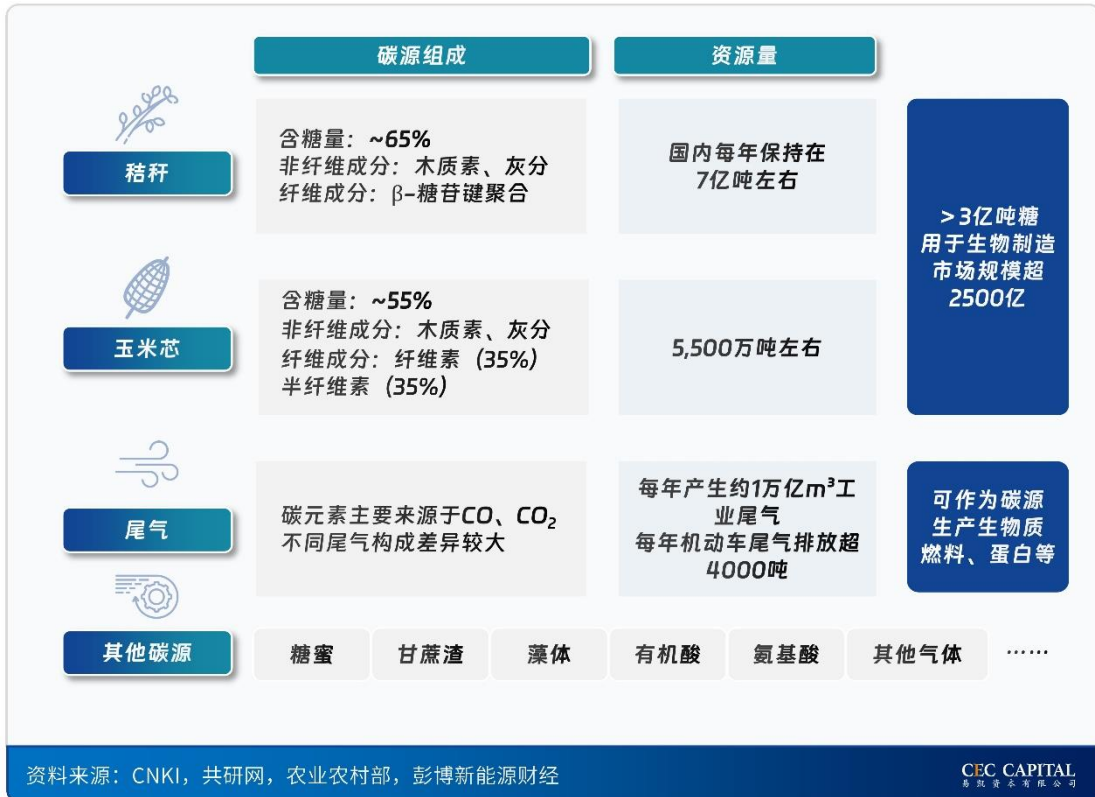
生物基化学品和材料行业已达到爆发的临界点，但是其成本和性能端依然有大量可优化空间。行业发展面临着极大的变化和结构性机遇：对于生物基材料这类大宗产品，其真正的竞争对手依然是传统的石油基产物。成本和性能上的差距成为了制约生物基塑料快速导入市场的限制因素。由于利润率不占优势，以及部分生物基塑料由于性能上的差距，需要更多产品迭代的时间以适应下游市场的需求。以 PHA 为例，其生产成本是石油基聚乙烯和聚丙烯的 3-10 倍，成为其商业化路上最大的问题。反观已导入市场的生物基产品，凯赛生物使用 2-3 年的时间完成长链二元酸产品后端纯化工艺的优化，使得生产成本比传统方法降低 40% 左右，其产品才真正开始进入市场。

易凯资本认为，大宗生物基材料产品导入期与石油基原料价格直接相关。目前生物基材料的占比仅有 6%，石油基材料存在较大的生物基替代空间。全新的生物基材料若要开发更能被市场接受的产品，也需要产业链深度配合。

6. 值得关注的生物制造下游赛道—非粮带来的原料替代机会

目前生物制造主要依赖第一代粮食作物及淀粉原料。中国作为全球生物发酵第一大国，发酵产品年产量 2000 万吨，消耗粮食近 5000 万吨。发展“不与民争粮，不与粮争地”的非粮碳源，是实现生物制造业可持续发展的重要前提。2023 年初，工业和信息化部等六部门联合印发《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》，方案中明确到 2025 年，非粮生物基材料产业基本形成自主创新能力强、产品体系不断丰富、绿色循环低碳的创新发展生态，非粮生物质原料利用和应用技术基本成熟，部分非粮生物基产品竞争力与化石基产品相当，高质量、可持续的供给和消费体系初步建立。

非粮原料种类丰富，可用于产糖



当前非粮生物质资源利用主要集中在秸秆领域，主要原因是秸秆资源丰富。中国秸秆以粗放利用为主，饲料化利用主体占比达到 76.9%。国内企业在探索生物质秸秆高价值利用时面临秸秆集中收储困难、秸秆质地差异大导致产品收率不稳定，以及秸秆有效成分回收利用技术不足等问题。在原料预处理、糖化和发酵转化效率、综合成本控制等方面难度更大。工业菌种(群)与酶蛋白功能元件制备、非粮生物质标准化采收保存、非粮生物质高效糖化等关键平台技术正处于攻关爬坡阶段，与现有工艺技术进行耦合衔接亟待突破，经济性上不占优势也导致秸秆糖在生物制造产业内暂不具备商业可行性。

中国秸秆产量丰富

单位：亿吨



因此，秸秆之外的其他新型碳源为非粮原料在生物制造中的应用带来了破局的可能性。油脂是另一极富潜力的非粮原料。出于独特的饮食习惯和庞大的人口基数，中国废弃油脂来源广泛，但应用并不充分。根据国家粮油信息中心数据，2021年中国潜在废弃油脂产生量达2100万吨。此外，国外棕榈油正寻求高附加值技术路线突破。除去油脂类碳源，甲醇作为一种结构最为简单的饱和一元醇，同时具备高能量密度、便于运输和储存等诸多优势，也具备大规模应用于生物制造的潜力。我国是甲醇产能大国，2021年底我国甲醇产能接近1亿吨，占全球约67%。利用可再生能源得到绿色氢气，并将CO₂还原成高附加值的甲醇，实现了二氧化碳接近零排放甚至负排放，是实现“双碳”目标的重要手段。未来随着可再生能源的普及化以及政策的支持，在良好的经济效益和环境效益下，绿色甲醇产能有望快速布局，助力我国“双碳”目标实现的同时，为非粮生物基材料提供绿色、价廉的原料。

废弃油脂相对甲醇和葡萄糖存在碳价优势

单位：人民币元，Kmol C



碳平均价格 (Average Carbon Cost) 是指原料中可用于化合物合成的每千摩尔碳的成本，即： $Average\ Carbon\ Cost = (average\ molecular\ weight \times price\ per\ ton) / (1000 \times average\ carbon\ atom\ number\ per\ molecular)$ 。根据微元合成测算，油脂（千摩尔碳平均价格：58-96 元/kMol C）和甲醇（千摩尔碳平均价格：31-93 元/kMol C）原料的原子经济性、摩尔碳被生物利用时释放的能量均显著高于葡萄糖（千摩尔碳平均价格：53-135 元/kMol C），在合成代谢过程中更具有优势。我们认为，通过油脂、甲醇等具有原子经济性的非粮原料替换粮食、薯类等原料制成的淀粉糖，有望重塑整个发酵产物产业链，为行业带来颠覆性的机会。

7. 值得关注的生物制造下游赛道—GLP-1

2022 年，全球糖尿病药物的市场规模为 596 亿美元，其中销售额前 2 位为司美格鲁肽和度拉糖肽，均为 GLP-1 受体激动剂。得益于“减肥神药”的口口相传，司美格鲁肽在近两年受到消费者、患者以及资本的高度关注。司美格鲁肽自上市以来，其销售额迅速上升，2023 年注射型、口服型降糖药以及减肥针三种剂型司美格鲁肽销售额首次突破百亿美元，达到 212 亿美元，翻倍增长，增长势头强劲。

司美格鲁肽高歌猛进，GLP-1赛道受到资本与消费者密切关注

单位：亿美元



在 GLP-1 激动剂带起的这波热潮下，多肽赛道也成为新药研发领域最值得关注的热点之一。多肽药物研发与生物制造产业的发展相辅相成。利用基因工程、蛋白质工程、酶工程、发酵工程等合成生物技术生产多肽，可实现多肽分子的高效表达，更有利于降低药物生产成本，提高生产效率。能够进行多肽的规模化制备的生物制造企业，为开发多肽药物带来极大助力。

诺和诺德原研的司美格鲁肽是通过基因重组技术，利用酿酒酵母细胞生产的人胰高血糖素样肽-1（GLP-1）类似物。诺和诺德选择了酿酒酵母细胞作为底盘，辅以发酵工艺和生物方法进行主链合成，研发了司美格鲁肽这款“神药”。除了酿酒酵母细胞底盘之外，大肠杆菌细胞底盘也在研发阶段获得了较好的进展。其中，最为代表性的便是质肽生物，其已经建立了四个技术平台，其采用经工程改造的大肠杆菌开发和生产重组蛋白质药物，用于治疗肥胖症、糖尿病以及非酒精性脂肪性肝炎等。底盘选择在 GLP-1 药物研发中至关重要，生物利用度、工艺稳定性、生产效率均与底盘的选取息息相关。

在司美格鲁肽的药物在华专利将于 2025 年到期、且国家知识产权局在 2022 年已判定其核心专利全部无效的背景下，GLP-1 赛道的竞争也进入白热化的下半场。一方面司美格鲁肽生物相似物将会陆续获批，各大药企将进行激烈的商业化竞争。另一方面，口服产品管线将会进入临床比拼，究竟是口服多肽 GLP-1 还是口服小分子 GLP-1 更胜一筹仍然需要等待时间和临床结果的检验。其中，多肽 GLP-1 通常具备高安全性、高选择性、高效性，但是受制于产能、生物利用度以及稳定性等原因，仍然需要较长的时间进行产业转化。

易凯资本认为，GLP-1 药物产业发展迈入“差异化创新”时代，行业内企业将会围绕“生物利用度足够高的创新制剂”、“超长效”以及“靶点创新与协同”三个方向进行布局。同样的，GLP-1 类药物上游企业在热度带动下也正处于高速发展期，多肽合成试剂、分离纯化原料、多肽固相合成工艺、多肽 CXO 等赛道也将具备显著的投资机会。

(二) 中国发酵产能全球领先，出海带来生物制造产业新机遇

中国年均发酵品总产量超过 3,000 万吨，稳居全球第一，占据了全球约 70% 的发酵产能，在氨基酸、有机酸和维生素等大宗生物发酵制品的产量上全球领先。充沛的产能为生物制造企业带来新的出海机会。生物制造企业需根据其下游产品的特性来制定相应的海外拓展策略和目标市场。

以工业化学品为例，产品（如生物基可降解塑料）可借助欧洲联盟的政策导向，首先在欧洲市场取得突破。2023 年 11 月，欧洲议会环境委员会（ENVI）通过了“包装和包装废弃物法规”（PPWR）的拟议修订案，旨在促进再利用和回收并解决不断增长的塑料包装废弃物问题。PPWR 主要涵盖三大目标：防止包装废弃物的产生、促进高质量回收和增加包装中回收塑料的使用，计划到 2030 年让所有包装变得可重复使用或可回收。在欧盟的 ESG 政策推动下，部分生物基材料的成本劣势被弱化，为出海创造了极为有利的机会。到 2023 年，欧洲生物塑料约占全球市场份额的 25%，欧盟有望成为 PHA 产品最大的下游市场之一。中国已走在 PHA 产业化前列，规划产能超过 10 万吨，有望率先进入欧洲市场。

对于食品添加剂产品，北美、澳新等海外市场需求可快速消化国内企业产能。海外部分国家较早通过了某些生物制造产品的审批。以阿洛酮糖为例，阿洛酮糖已在美国、智利、哥伦比亚、哥斯达黎加、新加坡、韩国、日本等 13 个国家/地区获得食品批准，2022 年其在北美市场的增速更是达到了 164%。我国丰富的产能优势为阿洛酮糖产品出口提供了可能。据统计，目前全球阿洛酮糖产能达到 2.4 万吨，其中我国产能为 1.4 万吨，约占全球的 58%。国内的发酵基础、较低的人工成本等因素使得我国阿洛酮糖产品在海外市场具有较强竞争力。甜菊糖苷系列分子 2011 年陆续被欧盟委员会授权在欧盟的食品和饮料中使用；美国 2008 年至今更是有近 50 种不同组成及生产方式的甜菊糖苷获批，使用酶促法和生物发酵法生产的代糖原料瑞鲍迪苷 M 也被批准使用。在国内法规申报期内，产品出海可为企业带来更多的市场机会。

医药领域，中国创新药的出海持续保持火热，自 2019 年以来，已有 7 款国产创新药品在美国获得批准上市，国内 License Out 呈现常态化增长，海外拓展程度不断加深，以 CGT、ADC、双抗等为代表的生物创新药国际化进程正加速推进，在全球市场和跨国药企交易中逐渐崭露头角。预计到 2023 年，中国生物药行业的出口金额将达到 219.9 亿美元，同比增长 8.94%。此前，从出口源来看，中国生物制药行业的主要出口目的地包括日本、韩国、欧盟和美国等四个国家。而随着“一带一路”倡议的推动以及东盟国家经济的增长、全民健康覆盖（UHC）比例的提高以及人口老龄化的加剧，东南亚地区高品质医疗保健的需求持续上升，成为一些生物医药企业国际化战略中的优先选择。国内的生物类似药、低成本生物创新药在未来东南亚市场具有较强的竞争力，越来越多的中国药企加入这一热潮，但当地的准入和支付能力仍为主要挑战。

除产品端的出海机会外，“一带一路”战略也为区域间生物制造产业的合作带来多样性机会。东南亚市场大力支持生物制造产业的发展，绿色经济成为中国与东南亚国家的合作主旋律。以泰国为例，泰国正在积极探索与推广 BCG 经济模式，以应对全球性气候变化的挑战，也为本国国际竞争力的提升提供解决方案。BCG 经济模式是以发展生物经济（Bio Economy）、循环经济（Circular Economy）和绿色经济（Green Economy）三大领域为基石，重点关注四大战略领域——农业与食品、健康与医疗、能源材料与生物化学、旅游和创意经济。为进一步推动国内外投资者对 BCG 产业的投资趋势，泰国出台多项促进投资的激励措施，推动投资者加大对泰国生物技术、生化生产、沼气和生物能源生产、食品和动物饲料生产、清洁回收设施建设等产业的投资兴趣。

在产品端外，一带一路沿线国家丰富的非粮资源将在原料端给予国内生物制造企业更多的选择。

一带一路国家丰富的非粮资源带来更多技术出海及产业合作机会



以印尼为例，印尼是棕榈油全球第一大国，2022/2023 年度印尼棕榈油产量 4650 万吨，占全球棕榈油产量的 59%。此外，印尼还有丰富的废弃农作物、藻类和木材资源，非粮资源禀赋。同为“一带一路”国家的哈萨克斯坦作为最大的内陆国家，幅员辽阔，拥有各种植被和荒漠植物资源。这些植物可能包括藜麦 (chenopods) 等荒漠植物，可作为潜在的非粮原料资源，而哈萨克斯坦的农业总产值占第一产业总产值的比重保持在 99% 以上，有着丰富的农业资源，例如稻壳、麦秸等农作物残余物。

易凯资本认为，生物制造面临多种的出海选择，生物制造产业在世界范围内存在丰富资源整合与合作机会。未来中国企业在“一带一路”国家投资建厂、生物制造产品向欧美和中东出海等模式将会愈发常见，产生区域产业链发展与合作将会更加紧密。

(三) 合成生物学在 AI 浪潮中寻求更有效的结合点，AI 技术突破性进展进一步加快了生物制造产业革新的步伐

1. AI 技术、数据科学和自动化技术与合成生物学的紧密结合将掀起新一次 BIO-AI 生物革命浪潮

AI 技术突破性进展进一步加快了生物制造产业革新的步伐，Bio-AI 模型大幅提升了从研发到生产的效率，高质量数据库和样本库的积累逐渐成为产业竞争的关键。合成生物学被用于设计生产发酵所需的生物系统，基于工程设计原则，利用工程可预测性控制复杂系统构建的“设计—构建—测试—学习”循环 (DBTL)。当前，人工智能已在基因线路、代谢工程、基因组工程等合成生物学领域广泛应用，既有助于提升生物工程的研发效率，还能够降低研究门槛，成为推动合成生物学发展的有力工具。具体来看，AI 对合成生物学的基因编辑效率、代谢途

径优化、生产过程优化、蛋白质设计等方面均具有较大提升作用：

- 1) **提高基因编辑的精度与效率：**AI 在基因编辑中的应用主要体现在提高编辑效率、减少非特异性剪切和预测编辑结果等方面。
- 2) **指导蛋白质设计：**AI 在蛋白质设计领域的应用主要集中在预测蛋白质三维结构、设计具有特定功能的蛋白质以及优化蛋白质的稳定性和生物活性等方面。
- 3) **优化代谢途径与生物生产过程：**AI 在代谢工程领域主要用于优化代谢途径、调控基因表达以及预测微生物生产性能等方面。

以 MetaNovas 为例，作为有代表性的 Bio-AI 结合型生物制造企业，其研发的 MetaKG 知识图谱能快速分析寻找，预测识别出生物活性物质是如何影响特定的健康区域，分子通路以及受体。公司力图通过 AI 驱动功效性原料及产品的革新，目前建立了百万级别的功能肽库。通过 AI 平台已探索并设计出上百个具有抗氧化，祛痘，疤痕修复，防脱发等功效的全新多肽分子。

除了上游研发，AI 赋能的生物制造生产环节也有更多的创新机会。人工智能技术在生物制造中有广泛应用，AI 可以通过数据积累、机器学习等方式，找到最适宜的生产参数，比如发酵罐的搅拌方式、转速，生产过程中的温度、压力、流量、搅拌转速、液位、pH 值、DO 值（溶氧量）、排气、菌丝密度、电导率等。通过 AI 找到最优的生产条件，可以实现以下目标：

- 1) 优化生产过程（快速提高生产效率、优化流程提供方便，支持实时生产过程优化和调整）；
- 2) 自动检测和质量控制（通过 AI 监测、机器学习等技术，人工智能可以减少质量变异，确保高品质产品的生产）；
- 3) 智能决策（使用机器学习、自适应控制算法和传感器来收集与处理生产过程信息和质量特征）。

在 BIO-AI 浪潮之下，国内生物制造企业华恒生物、凯赛生物、嘉必优等科上市公司存在较大机遇和先发优势。受益于 AI 技术发展，领军企业的产品构建和商业化有望显著提速，与此同时，高质量数据库和样本的积累有望成为公司较为重要资产和独特的竞争壁垒。以健康元为例，其于 2020 年便开始投资布局 BIO-AI 相关基础设施；2020 年末，健康元药业集团和丽珠集团共同成立健康元生物医药研究院，致力于采用先进的合成生物学手段，通过微生物基因组挖掘，利用天然或人工生物学元器件对微生物等生命有机体的遗传物质进行设计、改造及从头合成，结合发酵代谢工程和蛋白质定向进化的方法构建高效细胞工厂。2021 年初，健康元与腾讯量子实验室达成战略合作，共建量子 AI 计算赋能的微生物合成生物学研究及相关药物研发系统。这个系统研究方向所覆盖的生物大数据分析、蛋白质计算模拟和结构预测、全基因组定制化创制等前沿技术，辅助开展的小分子、大分子乃至微生物活体细胞药物相关表达组件拼接、分子结构模拟等研究，几乎都是创新药物研发的新晋热门路径。2021 年 11 月，健康元研究院、丽珠集团 BD 总部与腾讯量子实验室合作项目公布了新的进展，三者已联合开发了一种基于深度学习的用于预测潜在生物合成基因簇(BGCs)的算法架构，并将研究论文成功发布于生命科学预印本平台“bioRxiv”上。我们认为，未来 1-3 年内，生物制造企业与具备人工智能开发能力的企业将涌现出更多强强联合的案例，从而促进人工智能在生物技术领域的应用。

健康元通过AI技术结合合成生物技术，探索新型Biotech的可能性



2023年5月，健康元集团召开2022年度暨2023第一季度业绩说明会，提及公司研究院重点集中在高端特色原料药及中间体的创新研发上，与腾讯量子实验室的战略合作正有序推进中，目前已发现若干新的代谢产物合成基因簇，后续研究还在进行中。该合作项目将有利于促进公司原料药业务研发实力的提升，和新方向、新领域的布局，推进量子计算+人工智能在合成生物学研究及相关药物研究领域的应用，进而提高公司的核心竞争力及可持续发展实力。

易凯资本认为，人工智能与合成生物都是一个底盘技术，人工智能可以在产业链各环节增强合成生物学，从而使其充分发挥影响力。AI可协助进行蛋白质的从头设计以及功能预测，从而大幅提升效率。随着越来越多产业方入局，在未来，合成生物技术与AI技术的结合将会更紧密，也会有更多的应用场景出现。

2. 全球合成生物学领军企业已提前布局，通过收购、合作入局AI技术，布局上游产业

2024年2月，全球合成生物学领军企业Ginkgo Bioworks发布公告宣布收购两家人工智能驱动的药物发现初创公司Reverie Labs和Patch Biosciences，本次收购旨在提高Ginkgo在人工智能药物设计和机器学习基因药物设计的平台化能力。公告表示本次收购是Ginkgo更广泛战略的一部分，旨在通过新的Ginkgo技术网络增强其研发产品。此前，Ginkgo便与谷歌云建立了为期五年的云和人工智能战略合作伙伴关系，旨在使Ginkgo能够开发和部署用于生物学和生物安全的人工智能工具。这并不是Ginkgo第一次通过“买买买”的方式来拓展自身的商业版图，2022年10月，Ginkgo宣布收购Zymergen，Zymergen搭建了生物界的“谷歌搜索引擎”系统，这套系统融合了AI、自动化技术，实现了从上游生物基因数据库筛选分子、利用合成生物技术生产微生物、再到下游产品研发、生产、落地应用的全产业链条。

第一笔收购是 Patch Biosciences，Patch Biosciences 以其使用机器学习模型和检测而闻名，这些模型和检测将增强 Ginkgo 现有的服务能力，为其遗传医学工具包增添宝贵的功能和资源。第二笔收购是 Reverie Labs，专门从事人工智能驱动的药物发现。人工智能通过促进生物系统的设计、构建和优化，在推进合成生物学的发展中发挥着至关重要的作用。

除了大举收购，Ginkgo 也在自建相关 AI 算法和模型。2022 年 12 月，公司宣布推出酶相关服务“Ginkgo Enzyme Services”。以超高通量筛选、机器学习指导的蛋白质设计以及专有的菌株优化技术作为支撑，Ginkgo 能提供从新酶发现、活性功能优化到规模生产各环节的解决方案。Ginkgo 利用其在 DNA 合成和高通量筛选方面的能力，合成了接近 1.09 亿个 DNA 碱基对，筛选属于 12 个酶类的 7117 种酶，并评估了 2719 条通路，总共进行菌株测试 30445 种。

易凯资本认为，2024 年随着人工智能技术及优质的数据不断突破迭代，AI 将提升生物制造企业的综合技术壁垒。合成生物学巨头 Ginkgo 已通过积极并购率先布局 Bio-AI 产业。但是，后续商业模式的探索仍在摸索过程中，Ginkgo 纯服务、无产品的业务模式是否适合中国的土壤仍待验证。相比欧美，中国对生物制造产业的重视度更高，在基因编辑和 AI 技术快速发展的背景下，中国生物制造企业有机会跑在世界前列。

3. AI 与合成生物学深度结合仍面临：技术、数据、算法三大挑战

我们已经看到了 AI 的成功应用，但仍然局限于特定的数据集和研究问题，应用 AI 研究合成生物学仍然面临技术、数据、算法三大挑战：

1) **技术挑战：**将人工智能应用于合成生物学的技术挑战是数据分散在不同的模式中，难以组合，非结构化，往往缺乏收集数据的背景。模型需要的数据通常比在单个实验中收集的数据多得多，而且缺乏可解释性和不确定性的量化；并且在更大的设计任务中，没有度量标准来有效地评估模型的性能。

2) **数据挑战：**缺乏合适的数据集仍然是人工智能与合成生物学结合的首要障碍。将人工智能应用于合成生物学需要从个体实验中获得大量标记过的、精选的、高质量、情境丰富的数据。尽管产业在建立包含各种生物序列（甚至全基因组）和表型的数据库方面取得了进展，但标记数据仍然很匮乏。

3) **算法挑战：**许多推动当前人工智能进步的流行算法（例如计算机视觉和 NLP 领域的流行算法）在分析组学数据时都没有鲁棒性。当应用于特定实验中收集的数据时，这些模型的传统应用常常遭受“维数灾难”的困扰。

易凯资本认为，“合成生物”、“AI”或者 ChatGPT 等新兴技术的应用落地，归根到底都需要标准化的、大量的、成套的数据和样本。人工智能可以帮助合成生物，合成生物也可以反过来帮助人工智能，这两个学科在持续反馈循环中迭代升级。AI 对于生物制造的上游基因、蛋白设计、底盘细胞筛选，以及酶库的搭建和酶活性预测等领域的应用，仍属于长期赋能的范畴。