

2024年04月12日

标配

证券分析师

吴骏燕 S0630517120001

wjyan@longone.com.cn

证券分析师

谢建斌 S0630522020001

xjb@longone.com.cn

证券分析师

张季恺 S0630521110001

zjk@longone.com.cn

联系人

张磊

zlei@longone.com.cn

联系人

马小萱

mxxuan@longone.com.cn

联系人

花雨欣

hyx@longone.com.cn



相关研究

1.出海研究：从日本住友沙特拉比格炼化项目看我国炼化出海——化工系列研究（十八）

2.出海研究：轮胎国产品牌价值持续提升，“出海”发展前景广阔——化工系列研究（十七）

3.出海研究：我国聚酯链全球竞争力提升，出海推动新增长——化工系列研究（十六）

合成生物产业化加速，生物基材料有望推动化工行业绿色发展

——化工系列研究（十九）

投资要点：

- 合成生物学是“第三次生物技术革命”，使人类的认知从“格物致知”提升到“建物致知”。合成生物学以生物科学为基础，汇集化学、物理、信息技术、工程技术等学科而形成，利用基因技术与工程学概念设计改造现有的或合成新的生物体系，揭示生命运行规律，变革生物体系工程化应用为医药健康、工业、农业、能源等行业的生产、改进提供新的解决方案。
- 在政策支持和技术进步的推动下，全球合成生物学市场规模有望快速提升。目前全球已有40多个国家、500多个机构资助合成生物学研究。美国、英国、欧盟、日本、加拿大、澳大利亚、新加坡等国家均有引导扶持合成生物学发展的政策。根据中商产业研究院数据，2023年全球市场规模约为151亿美元，预计到2026年，市场规模有望达到307亿美元。
- 2015年以来，合成生物学行业政策的陆续出台助推了我国生物经济的快速发展，也推动了国内从事合成生物学领域的公司发展。国家发展和改革委员会在《生物产业发展“十三五”规划》和《“十四五”生物经济发展规划》中先后明确发展生物产业和合成生物学的重要性，各地方政府也陆续出台政策鼓励生物制造产业发展。
- 合成生物学在化工行业中应用广泛。生物基化学产品主要有聚酰胺（PA）、聚乳酸（PLA）、聚丁二酸丁二醇酯（PBS）和聚羟基烷酸酯（PHA）等。多数国家出台限塑禁令，生物基可降解塑料PHA、PLA和PBS有望迎来高速发展。生物基PA56是一种新型生物基聚酰胺，生物基PA56较PA66有更加优异的吸湿、染色及熔融流动性能，在工程塑料、薄膜及纤维领域有望大规模应用。
- 生物基化学品可显著降低能耗且具备替代价值。合成生物应用于化工品将带来显著的环境及社会效益。全球绿色高质量发展已经成为不可逆转的趋势，不同行业中，以石化资源为原料的化工行业碳排放量位居前列，因此石化产业的绿色低碳转型比其他行业更为紧迫。世界自然基金会报告等预测，到2030年低碳生物合成有望每年减少大约25亿吨的碳排放，对减缓全球气候变化、实现可持续发展具有重要意义。
- 投资建议：我们认为当下生物基化学品项目的价值判断逻辑在于：1）是否显著降低能耗，符合国家低碳发展路径。2）产品与现有其他工艺路线相比，是否具备降本、增效或可转换性等替代价值。建议关注：凯赛生物（引入与招商局的合作，生物基聚酰胺放量在即，潜在成长空间高达千万吨级）、华恒生物（高度重视专利积累，持续扩展产品图谱，以快速响应市场需求）。
- 风险提示：研发进度不及预期的风险；产品产业化及销售不及预期的风险；生物安全及菌种泄密的的风险。

正文目录

1. 第三次生物技术革命——合成生物学	4
1.1. 合成生物学定义及发展历程.....	4
2. 合成生物学打造化工绿色基因，选品是关键	8
2.1. 生物基材料——合成生物学化工领域代表	8
2.2. 显著降低能耗且具备替代价值是选品关键	15
3. 投资建议	18
4. 风险提示	18

图表目录

图 1 合成生物学的一般途径	4
图 2 近十年重要技术进展推动 DBTL 进程	5
图 3 2000-2018 年合成生物学研究的代表性进展	6
图 4 2015 年以来我国合成生物材料相关政策时间线	7
图 5 2017-2026 年全球合成生物学市场规模（亿美元）	8
图 6 当前主要生物基化学产品	9
图 7 PA66 产业链	10
图 8 PA6 产业链	10
图 9 生物基 PA56 的合成路径	11
图 10 全球生物塑料产能情况（万吨）	11
图 11 欧洲生物塑料协会预计 2028 年全球生物塑料产能占比	12
图 12 短链 PHA 合成途径示意图	13
图 13 不同单体来源 PBS 的合成示意图	14
图 14 低碳生物合成路径	16
图 15 PA66 产量、出口量及表观消费量（吨）	17
图 16 PA66 开工率	17
表 1 近年我国合成生物行业相关政策梳理	7
表 2 多种纤维性能对比	10
表 3 PBS 与 PLA、PE-HD、PE-LD 的物理性能	13
表 4 已建成的生物基丁二酸生产线	15
表 5 工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023 年版）（节选）	16
表 6 丙氨酸各生产工艺情况对比	17

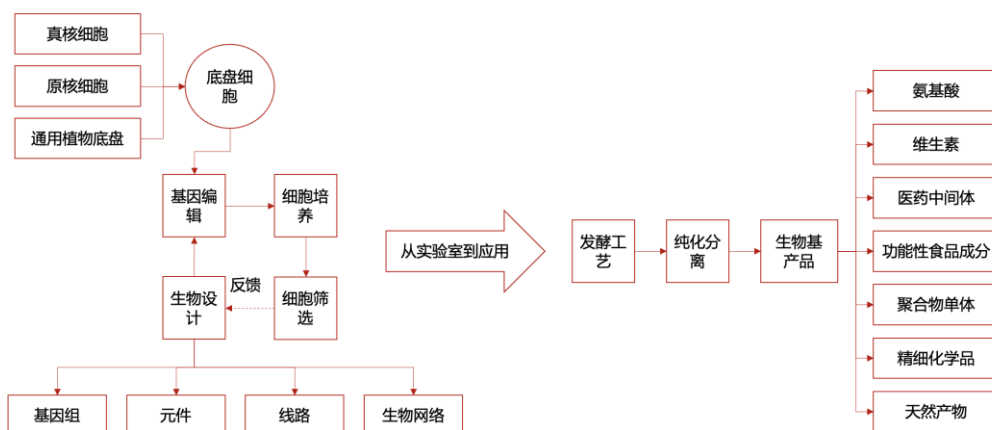
1.第三次生物技术革命——合成生物学

1.1.合成生物学定义及发展历程

合成生物学以生物科学为基础，汇集化学、物理、信息技术、工程技术等学科而形成，利用基因技术与工程学概念设计改造现有的或合成新的生物体系，揭示生命运行规律，变革生物体系工程化应用，从“格物致知”提升到“建物致知”，为医药健康、工业、农业、能源等行业的生产、改进提供新的解决方案，被誉为是继“DNA 双螺旋结构”发现和“基因组测序”之后的“第三次生物技术革命”。

合成生物学通过构建高效的细胞工厂来实现制造，生产步骤主要分为四块，底盘细胞筛选、生产细胞设计与构建、发酵生产、分离纯化。

图1 合成生物学的一般途径

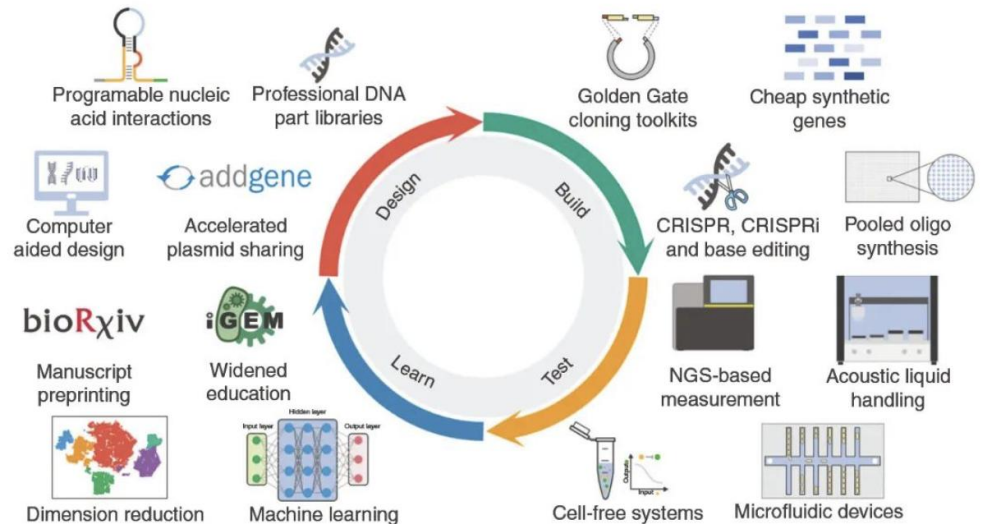


资料来源：《合成生物学在化工新材料领域的应用及展望》陈洁等，东海证券研究所

底盘细胞是合成生物学生产的基础。目前底盘细胞主要包括三个体系：真核细胞、原核细胞和通用植物底盘细胞，研究人员根据具体的研究和应用选择不同的生产体系。

生产细胞的设计与构建采用工程学“自下而上”的思维，汇聚了基因工程、线路工程、代谢工程等多个学科的技术。生产细胞的构建需要设计出目标产品的最优合成路径，最早研究人员采用随机诱变的方式改造微生物，耗时长，效率低。随着生物学的发展，研究人员采用工程学的 DBTL 策略对微生物进行有目标的改造并持续迭代，主要过程：1) 对生物系统进行设计，2) 利用标准化的生物元件将其构建成可被调控的基因线路模块，3) 通过基因合成、基因编辑和细胞培养等技术手段创造出符合设计及功能需要的生物系统，4) 通过大量测试，逐步优化提高生产细胞的效率及稳定性，最后根据测试结果和研究测试数据，为新一轮循环提供支持。

图2 近十年重要技术进展推动 DBTL 进程



资料来源:《The second decade of synthetic biology: 2010–2020》Meng, F. and Ellis, T., 东海证券研究所

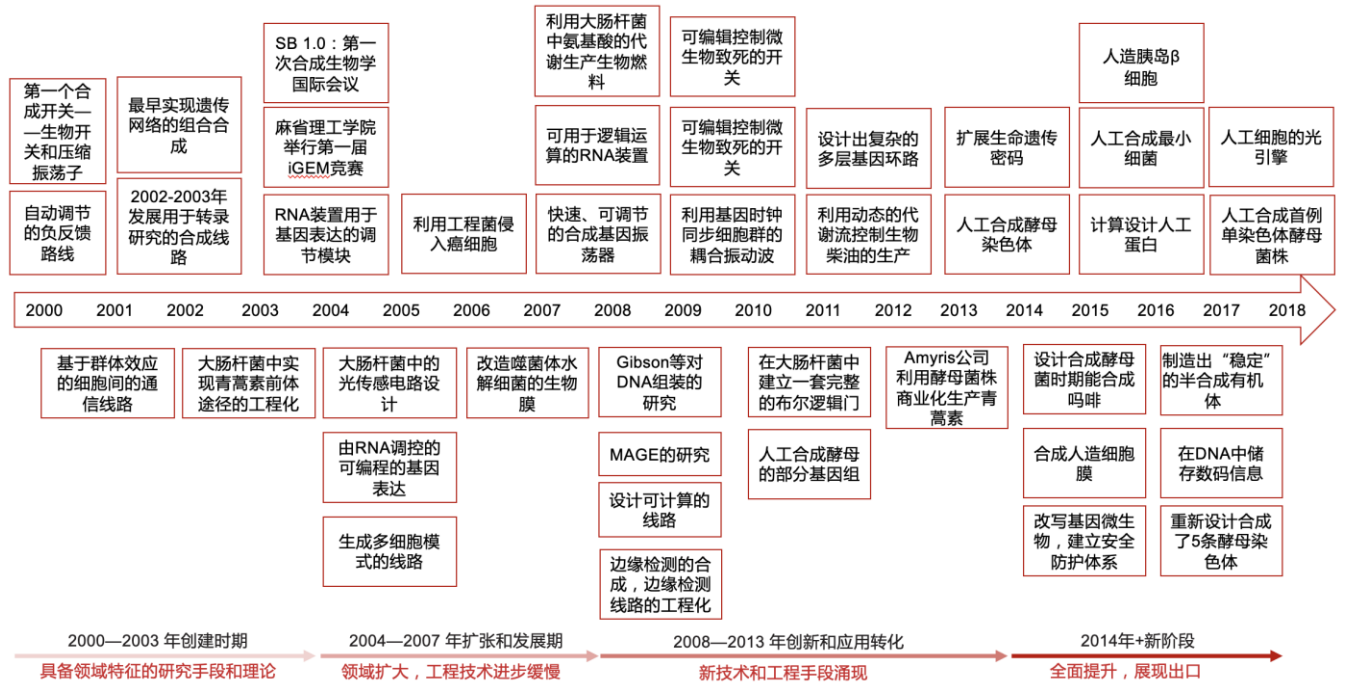
发酵工艺是实现产业化的必经之路，发酵生产环节需要大量时间积累经验。合成生物学的最终目标产物需要经过发酵和分离才实现产业化，生产规模从克到千克再到吨的放大，要经过实验室阶段、小试、中试再到大生产线的不断试验和优化。在不同规模和生产条件下，越是大宗产品的发酵，固定资产和能耗越高，物料和资金的投入也都快速的上升。另外，发酵生产和发酵产业又存在一定的区别，发酵产业是一个比较传统的产业，而发酵生产考虑的工艺条件和因素更多，需要大量的时间和经验的积累。

产品通过分离纯化达到特定标准。在完成发酵后，根据产品的特点采用多种技术将最终目标产物从发酵液或生产细胞中分离、纯化出来，以达到最终产品的特定标准。

近二十年合成生物学经历了创建时期、扩张和发展期、创新和应用转化时期，目前处于全面提升，快速迭代的新阶段。合成生物学概念最早可追溯到 20 世纪初，具有多学科交叉的特点，在当时的技术条件下难以实现。上世纪七十年代以来，一系列的技术进步促进了合成生物学的发展，随着分子克隆和 PCR 的进步，基因操作为人工设计、调整、控制基因提供了技术手段；DNA 测序技术进步和计算工具的改良帮助实现了微生物基因组的完整测序等；分子生物学将计算分析应用到生物实验研究中，促进了系统生物学的发展，研究人员提出了“自下而上”的工程学方法来补充“自上而下”的系统生物学方法。

2000 年以来，合成生物学大致经历了四个阶段，**第一阶段：创建时期(2000-2003 年)：**产生了具备领域特征的研究手段和理论，特别是基因线路工程的监管及其在代谢工程中的应用。**第二阶段：扩张和发展期(2004-2007 年)：**基础研究快速发展，学科应用领域有扩大趋势，但是工程技术进步比较缓慢。**第三阶段：快速创新和应用转化期(2008-2013 年)：**这阶段涌现出的新技术和工程手段，特别是基因组编辑效率大幅提升，使合成生物学应用领域快速扩展，其应用领域从生物基化学品、生物能源扩展至疾病诊断、药物和疫苗开发等领域。**第四阶段：生物技术与信息技术融合发展(2014 年至今)：**设计—构建—测试—学习 (DBTL) 循环带动合成生物学技术和产品快速迭代。

图3 2000-2018年合成生物学研究的代表性进展



资料来源：《合成生物学：开启生命科学“会聚”研究新时代》赵国屏，东海证券研究所

目前全球已有 40 多个国家、500 多个机构资助合成生物学研究。美国、英国、欧盟、日本、加拿大、澳大利亚、新加坡等国家均有引导扶持合成生物学发展的政策。美国政府在《国家生物能源蓝皮书》中明确了 5 项充分实现生物经济潜力的战略目标，在《生物质技术路线图》提出“2030 年替代 25% 有机化学品和 20% 石油燃料”的目标；2018 年日本正式发布《生物战略 2019——面向国际共鸣的生物社区的形成》；2019 年欧洲生物产业协会发布《生物技术工业宣言 2019——重振欧盟生物技术雄心》，同年，韩国发布《生物健康产业创新战略》及发展愿景；2021 年，英国政府宣布为生物质原料创新计划的第二阶段提供 2600 万英镑资助。

2015 年以来，合成生物学行业政策的陆续出台助推了我国生物经济的快速发展，也推动了国内从事合成生物学领域的公司发展。2017 年，国家发展和改革委员会在《生物产业发展“十三五”规划》中提出，生物产业是 21 世纪创新最为活跃、影响最为深远的新兴产业，是我国战略性新兴产业的主攻方向，对我国抢占新一轮科技革命和产业革命制高点，加快壮大新产业、发展新经济、培育新动能，建设“健康中国”具有重要意义。“十四五”以来，合成生物学已经逐渐在天然产物合成、医学、能源、工业等多个领域应用。2022 年 5 月 10 日，国家发改委印发《“十四五”生物经济发展规划》，明确指出发展生物经济是顺应全球生物技术加速演进趋势、实现高水平科技自立自强的重要方向，是前瞻布局培育壮大生物产业、推动经济高质量发展的重要举措，是满足生命健康需求快速增长、满足人民对美好生活向往的重要内容，是加强国家生物安全风险防控、推进国家治理体系和治理能力现代化的重要保障，并提出发展合成生物学技术，探索研发“人造蛋白”等新型食品，降低传统养殖业带来的环境资源压力。

图4 2015年以来我国合成生物材料相关政策时间线



资料来源：《合成生物学在化工新材料领域的应用及展望》陈洁等，东海证券研究所

近年来，国内各地也陆续出台合成生物学相关政策鼓励生物制造产业的发展。2021年1月，北京市发改委在《中国（北京）自由贸易试验区科技创新片区海淀组团实施方案》中提出要布局重大生物产业平台和重点项目；2021年6月，上海市政府在《上海市战略性新兴产业和先导产业发展“十四五”规划》中提出要构建生物基化学品的细胞工厂，推动合成生物学技术工业应用；2021年8月，山西省政府印发《山西省“十四五”14个战略性新兴产业规划》，其中包括开展合成生物学基础研究和生物基材料等应用技术开发，加速生物聚酯等重点项目建设。

表1 近年我国合成生物行业相关政策梳理

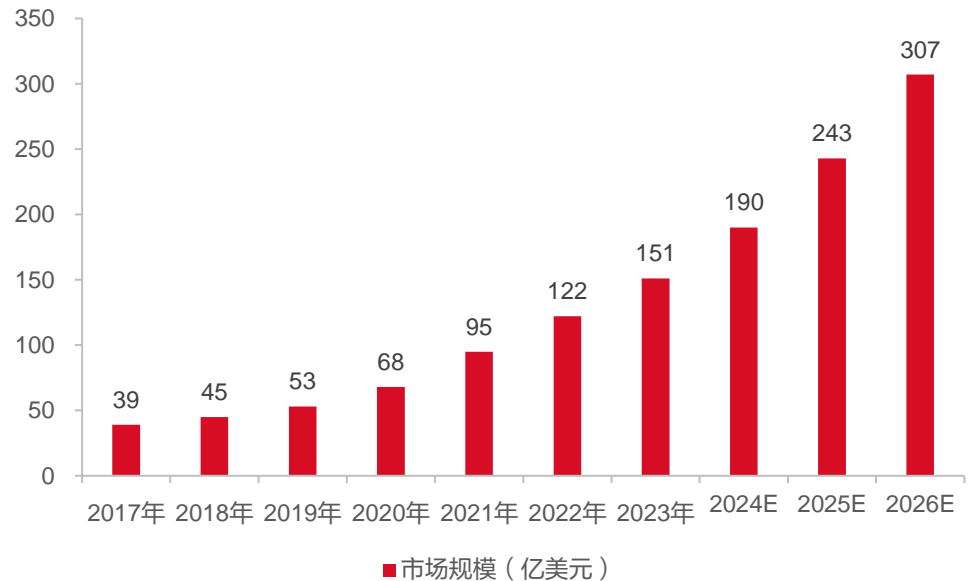
时间	发布单位	相关文件	主要内容
2021年1月	北京市发展和改革委员会	《中国（北京）自由贸易试验区科技创新片区海淀组团实施方案》	布局重大生物产业平台和重点项目
2021年6月	上海市人民政府	《上海市战略性新兴产业和先导产业发展“十四五”规划》	构建生物基化学品的细胞工厂，推动合成生物学技术工业应用
2021年8月	山西省人民政府	《山西省“十四五”14个战略性新兴产业规划》	开展合成生物学基础研究和生物基材料等应用技术开发，加速生物聚酯等重点项目建设
2021年11月	国家发展和改革委员会、工业和信息化部	《关于推动原料药产业高质量发展实施方案的通知》	加快合成生物学等先进技术的开发应用，推动原料药产业高质量发展
2022年5月	国家发展和改革委员会	《“十四五”生物经济发展规划》	要着力做大做强生物经济，到2025年生物经济成为推动高质量发展的强劲动力
2022年6月	科技部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部等9部门	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》	坚持创新驱动作为发展的第一动力，坚持目标导向和问题导向，构建低碳、零碳、负碳技术创新体系
2023年1月	工业和信息化部、发展和改革委员会、财政部、生态环境部	《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》	立足产业技术实际，系统谋划生物基材料产业创新发展

境部、农业农村部、市场监
 督管理总局

资料来源：各部门网站，《“十四五”背景下合成生物学产业发展趋势分析》王浩绮等，东海证券研究所

在政策支持和技术进步的推动下，合成生物学市场规模有望快速提升。根据中商产业研究院数据，2023 年全球市场规模约为 151 亿美元，预计到 2026 年，市场规模有望达到 307 亿美元。

图5 2017-2026 年全球合成生物学市场规模（亿美元）



资料来源：中商情报网，东海证券研究所

2.合成生物学打造化工绿色基因，选品是关键

2.1.生物基材料——合成生物学化工领域代表

生物基材料有望逐步替代石油基材料，原料端植物油、淀粉、木质素和蔗糖来源广泛，理论上绝大多数的化工材料都可以借助合成生物技术从生物原料中得到，同时，传统化工新材料的创新相对缓慢，合成生物技术有望带来创新机会。

生物基材料是以淀粉、木质纤维素、蔗糖和植物油等为原料，通过生物合成等方式形成脂肪酸等有机酸、生物醇、烯烃和烷烃等生物基化学物质，再经过进一步得到生物基塑料和生物基纤维等终端产品。

原料端来源广泛：

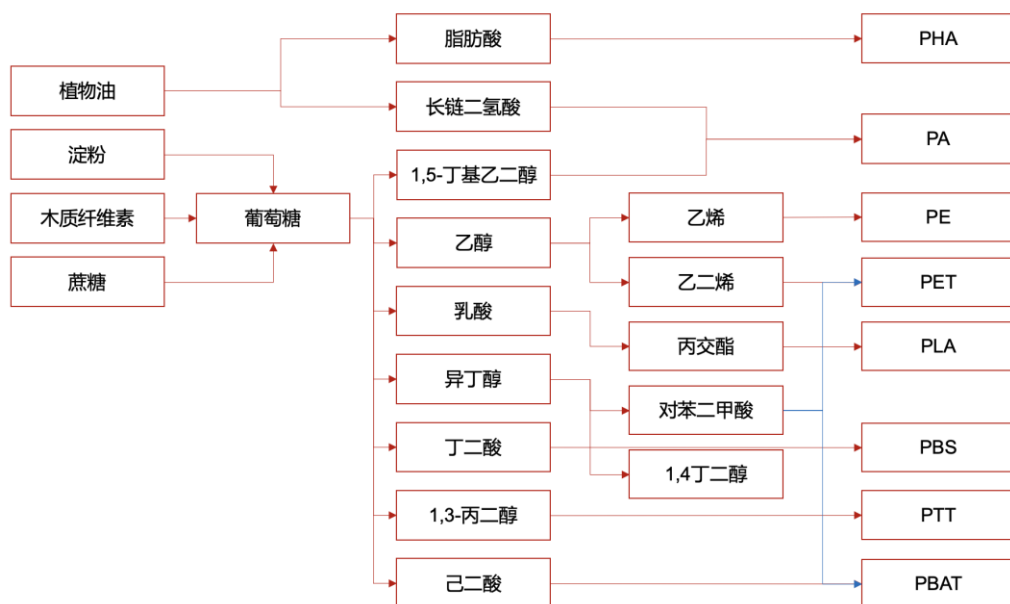
1) 淀粉是一种天然高分子化合物，主要有大量葡萄糖分子通过糖苷键连接而成，广泛存在于植物中，尤其是谷物、马铃薯和豆类等食物中，其具有可再生、可降解、低成本和来源广的特点，是一种理想的生物基原料。

2) 木质纤维素较淀粉来源更为广泛，其广泛存在于植物细胞壁中，尤其是在农业废弃物、林业副产品和硬质木材中含量丰富，包含三种组分：纤维素、半纤维素和木质素。纤维

素由 β-葡萄糖通过 1-4 糖苷键连接成线性高分子链，具有高度的结晶性和良好的机械强度。半纤维素是一类多糖，通常有不同的糖单元组成，结构较为复杂，洁净度较低，能形成凝胶状结构，有助于纤维素的分散和稳定。木质素是一种高分子量的芳香族聚合物，有酚类单体通过复杂的方式连接而成，为细胞壁提供刚性和防水性，具有较强的抗生物降解能力。木质纤维素是生产生物燃料的重要原料，可通过酶解获得生物乙醇，也可用于制造生物降解材料、复合材料和包装材料等。

3) 蔗糖是一种二糖，由一个葡萄糖分子和一个果糖分子通过糖苷键连接而成，主要来源于甘蔗或甜菜中，在生物制造领域可以作为发酵过程中的碳源，用于生产生物乙醇和生物基材料 PE 和 PA 等。

图6 当前主要生物基化学产品



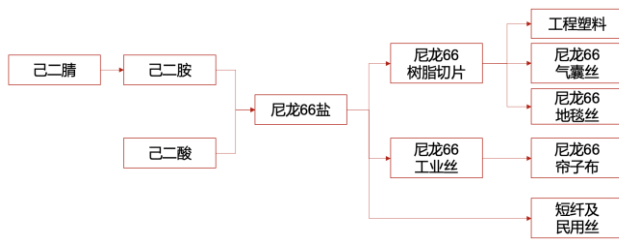
资料来源：《合成生物学在化工新材料领域的应用及展望》陈洁等，东海证券研究所

生物基化学产品主要有聚酰胺 (PA)、聚乳酸 (PLA)、聚丁二酸丁二醇酯 (PBS) 和聚羟基烷酸酯 (PHA) 等。

聚酰胺俗称尼龙，具有质轻、耐疲劳、耐化学腐蚀、耐热耐磨以及机械强度高特点，被广泛应用于服装、汽车、医疗器械、建筑和电气等领域。

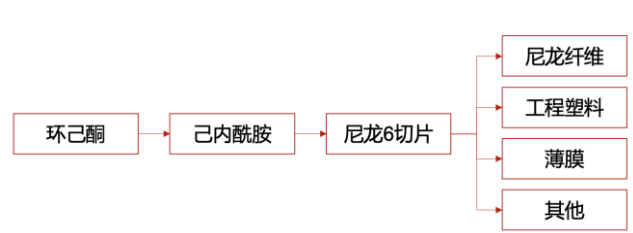
工业化应用最广的聚酰胺品种是 PA66 和 PA6，二者占比约 98%，是杜邦的成名产品。传统聚酰胺生产工艺通过二酸/二胺单体缩聚和氨基酸缩聚/内酰胺单体开环聚合。PA66 由己二酸与己二胺通过缩聚反应形成；PA6 由己内酰胺通过聚合反应形成。多年来，我国生产 PA66 的关键原材料己二腈生产技术有海外垄断，其中，英威达、巴斯夫等前五位企业产能占比达到全球的 80%，2022 年我国己二腈生产技术实现突破，国内 PA66 产能有望增长。

图7 PA66 产业链



资料来源：《国内外己二腈行业现状及竞争力分析》屠庆华等，东海证券研究所

图8 PA6 产业链



资料来源：百川盈孚，东海证券研究所

生物基聚酰胺材料是将粮食或非粮食环保生物质通过生物技术转化为生物基单体，再通过聚合反应生成生物基聚酰胺，其原料丰富，为绿色、环保和可持续开发聚酰胺产品提供了途径。目前，PA1012、PA10T、PA610及PA410均已实现商品化，PA66以葡萄糖为原料，生物及己二酸与石油基己二胺熔融缩聚制得部分生物基PA66，但目前生物法制取己二酸单体还未实现工业化。

生物基PA56是一种新型生物基聚酰胺，其单体生物基1,5-戊二胺来源于葡萄糖。生物基PA56的热性能、力学性能及加工性能与PA66相当，可以和PA66一样通过注塑、吹塑、熔融纺丝等方式加工成形，另外，生物基PA56较PA66有更加优异的吸湿、染色及熔融流动性，在工程塑料、薄膜及纤维领域有望大规模应用。

表2 多种纤维性能对比

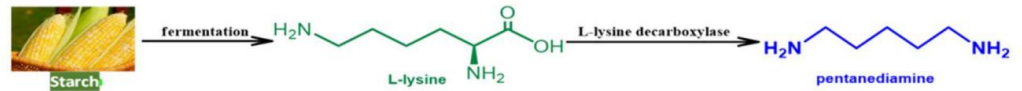
纤维类别	尼龙 56	尼龙 6	尼龙 66	常规涤纶	棉
纤度 (d)	140/72f	70/48f	455/144f	345/144f	-
玻璃化温度 (°C)	46.6	50	42	73	-
熔点 (°C)	255.6	220	258	268	-
比重 (g/cm³)	1.14	1.13	1.14	1.42	1.58
标准回潮率 (%)	5.1	3.6	3.1	0.4	7
断裂强度 (CN/dtex)	4.18	3.33	4.35	3.42	2.4~4.0
断裂伸长 (%)	26	30.5	25.6	27.5	22.3
极限氧指数 (%)	31	20.1	20.1	20.6	19.8
染色性	容易	较难	较难	难	容易
低碳环保性	好	差	差	差	一般
可持续发展性	好	较差	差	差	一般

资料来源：《生物基聚酰胺纤维引领产业绿色发展》郝新敏等，东海证券研究所

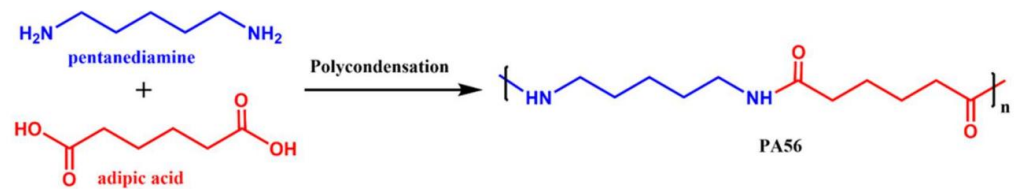
凯赛生物是目前唯一通过生物法大规模制造PA56中间体1,5-戊二胺的企业。海外日本东丽，三菱化学，韩国希杰公司和德国巴斯夫都有PA56的研发与尝试，但其生物基1,5-戊二胺的规模化生产均未取得突破。国内与2010年左右启动PA56的相关研究，目前凯赛生物以可再生植物为原料，通过特定的生物转化工艺生产高纯度的生物基1,5-戊二胺，与2014年实现产业化，是目前唯一通过生物法大规模制造1,5-戊二胺的企业。

图9 生物基 PA56 的合成路径

Step 1:生物基1,5-戊二胺的制备



Step 2:生物基PA56的合成

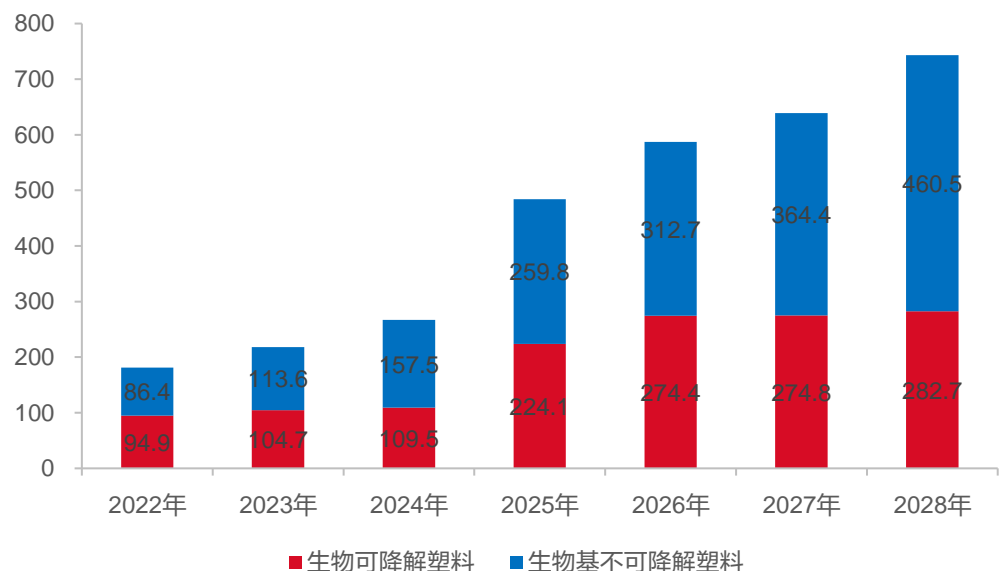


资料来源:《生物基聚酰胺 56 的结构、性能及阻燃改性研究》杨婷婷等, 东海证券研究所

多数国家出台限塑禁令,生物基可降解塑料 PHA、PLA 和 PBS 迎来高速发展。人造塑料产品给人们生活带来巨大的便利的同时对石油资源产生了大量的消耗,并且对环境产生了污染。近年来,全球兴起可降解风潮,多数国家纷纷出台限塑禁令,欧洲各国和机构出台相关法律以进一步开发和利用生物基塑料,法国从 2017 年开始实施超市、水果和邮件等包装以生物为基础的规定,2020 年其可分解包装袋中生物物质比例由 2017 年的 30%提升至 60%,政策推动下,生物基可降解塑料迎来高速发展。

根据欧洲生物塑料协会数据,目前生物塑料约占全球每年生产的塑料的 0.5%,2022 年全球生物塑料产能达到 181.3 万吨,预计至 2028 年将快速增长至 743.2 万吨,年均复合增长率达 26.51%。

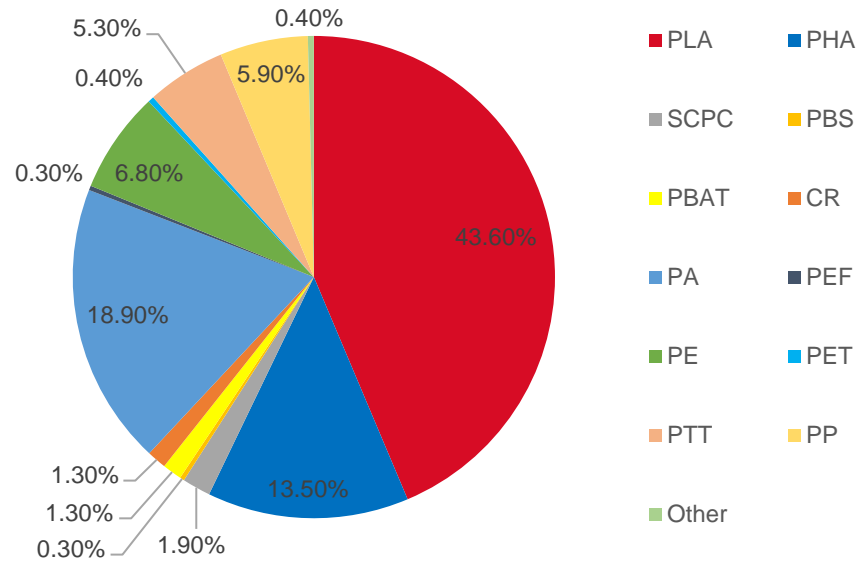
图10 全球生物塑料产能情况 (万吨)



资料来源:欧洲生物塑料协会, 东海证券研究所

生物塑料材料有望广泛替代传统塑料,根据欧洲生物塑料协会预测,PLA、PHA、PA 以及 PP 等生物基材料将在未来几年快速发展,其产能将在 2028 年前快速提升。

图11 欧洲生物塑料协会预计 2028 年全球生物塑料产能占比



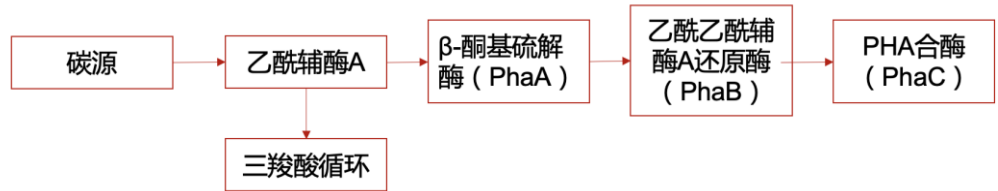
资料来源：欧洲生物塑料协会，东海证券研究所

聚羟基脂肪酸酯（PHAs）和聚乳酸（PLA）是目前最常见的可降解材料。PHAs 是高分子材料中的重要成分，PLA 是通用的工业原料，可以取代传统原料，二者结构与传统的石油基塑料相同。

PHA 材料是一种高分子生物材料，存在于微生物细胞中，具有可降解和结构多样化的特性。相较于传统塑料，PHA 材料在生产过程中不会产生大量的有害气体和废弃物，具备快速降解的特性，使其在环境方面具备明显优势。其优点包括光学性能、生物相容性、生物降解、热塑性加工和气体隔离等。PHA 的单体种类多样，链长区别很大，这使得不同种类的 PHA 材料性质也有很大差别，在塑料、人造医用支架、药物载体、电化学材料中得到广泛应用。

PHA 的生物合成是由多种蛋白和酶参与的代谢过程，主要有三条生物合成路径，分别是三步合成路径、脂肪酸 β -氧化路径和五步合成路径，其中，研究最为透彻、应用最为广泛的是三步合成路径，这也是工业化生产短链 PHA 主要利用的合成路径。罗氏真养菌、拜氏固氮菌等微生物通过三步合成路径合成 PHB，第一步 β -酮基硫解酶催化两个乙酰辅酶 A 缩合生成乙酰乙酰辅酶 A；第二步，乙酰乙酰辅酶 A 被还原酶催化生成(R)-3-羟基丁酰辅酶 A；第三步，(R)-3-羟基丁酰辅酶 A 单体在 PHA 合成酶的作用下聚合生成 PHB，同时释放辅酶 A。脂肪酸 β -氧化路径可以合成中长链 PHA，如铜绿假单胞菌经过 β -氧化途径产生酮脂酰辅酶 A 等合成 PHA 的前体物质，然后在烯酰辅酶 A 水合酶的作用下生成(R)-3-羟基脂酰辅酶 A，最后通过 PHA 合成酶聚合生成 PHA。

图12 短链 PHA 合成途径示意图



资料来源:《以玉米浆为主要氮源的 PHA 发酵工艺研究及优化》唐堂等, 东海证券研究所

PHA 的生物合成方法主要是利用微生物自身代谢来合成产物, 主要有微生物发酵法(包括野生菌法和重组工程菌法)、转基因植物法和活性污泥法等。目前微生物发酵法研究最为广泛, 转基因植物法和活性污泥法虽然有利于降低发酵成本, 但是产率较低且提纯困难, 难以大规模应用。

聚乳酸(PLA)在特定的条件下具备了一定的可降解特性, 但其降解条件苛刻, 2021年, 欧盟颁布最终版《一次性塑料指南》, 禁止氧化降解塑料作为一次性塑料制品, 其中就包括 PLA, 未来 PLA 可降解材料市场将以国内为主。

聚丁二酸丁二醇酯(PBS)是在包装和膜领域具有良好发展前景的生物降解材料。PBS 主要原料为丁二酸和 1, 4-丁二醇, 经酯化缩聚、造粒, 最终形成乳白色颗粒, 与其他脂肪族聚酯相比, 具有更好的生物降解性、熔体加工性和耐化学性, 还具有良好的热稳定性和优良的力学性能, 是目前完全可生物降解树脂中耐热性能较高的品种, 力学性能与 PE、PP 相近, 可用于包装、一次性器具、农膜、纺丝加工以及医用领域。

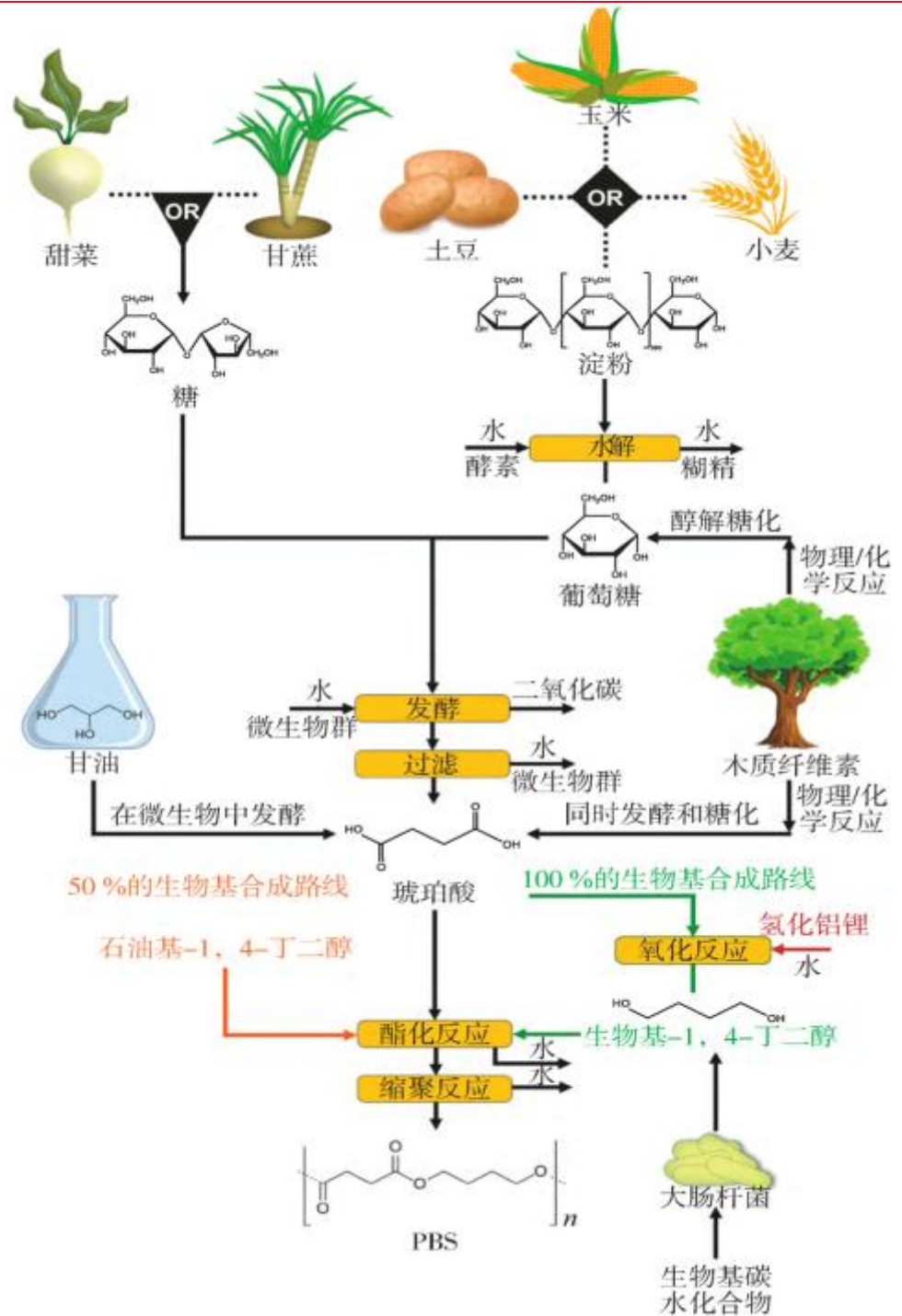
表3 PBS 与 PLA、PE-HD、PE-LD 的物理性能

样品	玻璃化转变温度 /°C	熔融温度 /°C	热变形温 度/°C	断裂拉伸强度 /MPa	断裂伸长 率/%	冲击强度 /J·m ⁻¹	结晶度/%
PBS	-35	114	97	34	560	300	40
PET	80	250	98	71.6	70	110	35
PLA	60	175	58	53	6	13	50
PP	-5	163	110	33	415	20	56
PE-HD	-120	129	82	28	700	40	69
PE-LD	-120	110	49	10	300	410	49

资料来源:《PBS 及其复合膜的制备及应用研究进展》马志蕊等, 东海证券研究所

PBS 通常采用两步缩聚反应合成, 生成低聚物后进行酯交换反应, 包括直接酯化法和酯交换法。直接酯化法是通过丁二酸与过量丁二醇进行低温酯化脱水, 再在高温、低压及催化剂的作用下得到端羟基的 PBS。PBS 合成的单体丁二酸和 1, 4-丁二醇可以从石油基中获得, 也可以从生物质资源中获得, 从生物质资源路径获得合成单体制得的 PBS 即 100% 生物基 PBS。

图13 不同单体来源 PBS 的合成示意图



资料来源:《PBS及其复合膜的制备及应用研究进展》马志蕊等, 东海证券研究所

由于PBS的原料1,4-丁二醇和丁二酸成本较高,所以PBS的成本较PBAT和PLA等可降解材料要高,使得其市场推广较慢。目前,国内市场可降解餐具仍以PLA制品为主,PBS制造的餐具主要供给海外。伴随欧洲对生物基可降解材料的新限制,生物基丁二酸和1,4-丁二醇的研究受到了广泛关注,其碳素可完全循环,对于利用可再生资源、固定温室气体等有重大意义。

目前有多家企业建立了商业化生物基丁二酸的生产线,如帝斯曼与法国Roquette合资的Reverdia公司采用酵母菌低pH发酵的1万吨/年产能的装置;美国BioAmber公司与日本三菱化学合作建成采用低pH发酵工艺的3万吨/年生物基丁二酸装置;荷兰CorbionPurac

和德国 BASF 联合成立的 Succinity 公司采用中性发酵工艺的 1.4 万吨/年产能的装置；Myriant 采用一株能利用木质纤维素水解液的大肠杆菌作为生产菌株，选择氨沉淀法分离丁二酸。

表4 已建成的生物基丁二酸生产线

生产商	产能/(万吨/年)	原料	生产菌株	发酵及分离工艺
Myriant	1.4	糖浆/木质纤维素水解液	E.coli	氨水维持 pH，氨沉淀法分离工艺
BioAmber	0.4	麦芽糖浆	E. coli	氢氧化钠维持 pH，电透析法分离工艺
BioAmber & Mitsubishi	3	玉米糖浆	Candida krusei	低 pH 发酵，直接结晶工艺
Succinity	1	甘油/糖浆	Basfia succiniciproducens	Mg(OH) ₂ 维持 pH，镁盐分离工艺
Reverdia	1	糖浆	S. cerevisiae	低 pH 发酵，直接结晶工艺

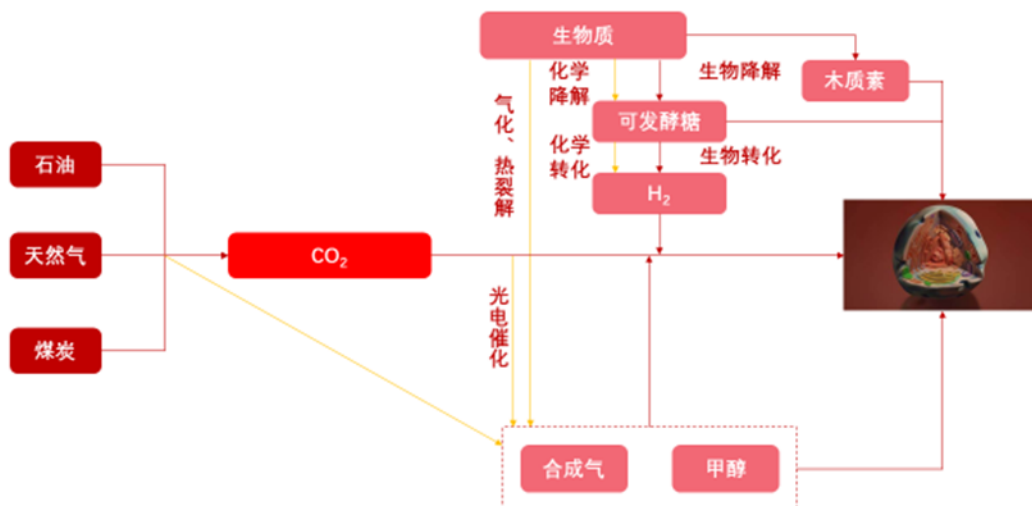
资料来源：《生物法制造丁二酸研究进展》张耀等，东海证券研究所

我国丁二酸生产企业大多以石油基丁二酸生产为主，生物基丁二酸产能占比小，目前有量产生物基丁二酸的企业主要是兰典生物和华恒生物。

2.2.显著降低能耗且具备替代价值是选品关键

合成生物应用于化工品将带来显著的环境及社会效益。全球绿色高质量发展已经成为不可逆转的趋势，不同行业中，以石化资源为原料的化工行业碳排放量位居前列，因此石化产业的绿色低碳转型比其他行业更为紧迫。世界经合组织预测，到 2030 年将有 35% 的化学品和其他工业产品可能通过低碳生物来合成。用低碳生物合成生产的生物基产品替代石化产品，可以降低工业过程能耗 15%~80%、原料消耗 35%~75%、水污染 33%~80%、生产成本 9%~90%，可以减少燃料相关的温室气体排放量 75%~80%。世界自然基金会报告等预测，到 2030 年低碳生物合成有望每年减少大约 25 亿吨的碳排放，对减缓全球气候变化、实现可持续发展具有重要意义。国际能源署于 2020 年发布报告，基于生命周期评估预测全球低碳生物合成的化学品在 2030 年可减排 6.7 亿吨 CO₂ 当量。美国农业部发布的《美国生物基产品行业经济影响分析》指出，生物基产品每年替代约 940 万桶石油，相当于每年减少 1270 万吨 CO₂ 的温室气体排放。

图14 低碳生物合成路径



资料来源：王钦宏等《低碳生物合成：机遇与挑战》，东海证券研究所

合成生物有望成为我国石化行业低碳转型的重要路径。我国的“十四五”规划中，对于石化行业及其重点领域、重点产品、重点企业实施绿色低碳转型的要求、目标和措施、路径也非常明确。中共中央、国务院以及国家有关部门对双碳目标及完成路径都已做了战略部署，特别是对石化行业的炼油、乙烯、对二甲苯、合成氨、烧碱、纯碱、焦化等重点子行业 and 重点产品提出了具体要求、目标和采用的新技术、新工艺、新设备等路径选择。2023年7月4日，国家发展改革委等部门关于发布《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的通知。在此前明确炼油、煤制焦炭等25个重点领域能效标杆水平和基准水平的基础上，增加乙二醇，尿素，钛白粉，聚氯乙烯，精对苯二甲酸等11个领域，进一步扩大工业重点领域节能降碳改造升级范围，原则上应在2026年底前完成技术改造或淘汰退出。

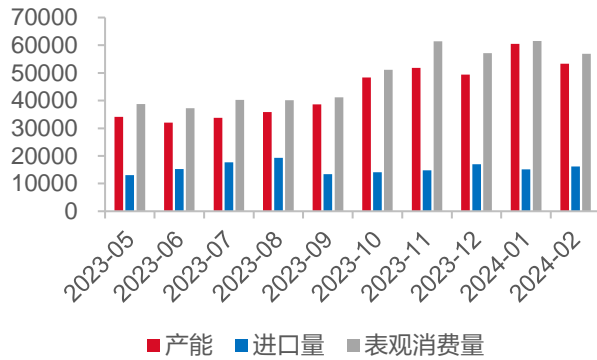
表5 工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）（节选）

重点领域	指标名称	指标单位	标杆水平	基准水平	
棉、化纤及混纺织物	单位产品综合能耗	千克标准煤/百米	28	36	
针织物、纱线	单位产品综合能耗	吨标煤/吨	1	1.3	
对二甲苯	单位产品能耗	千克标准油/吨	380	550	
乙二醇	单位产品能耗	千克标准煤/吨	375	470	
尿素	汽轮机驱动	单位产品能耗	千克标准煤/吨	150	170
	电机驱动			138	165
聚氯乙烯	电石法（通用型）	单位产品能耗	千克标准煤/吨	193	270
	电石法（糊用型）			450	480
	乙烯法（通用型）			620	635
	乙烯法（糊用型）			950	1100
精对苯二甲酸	单位产品能耗	千克标准煤/吨	80	180	
粘胶短纤维	单位产品综合能耗	千克标准煤/吨	800	950	

资料来源：发改委，东海证券研究所

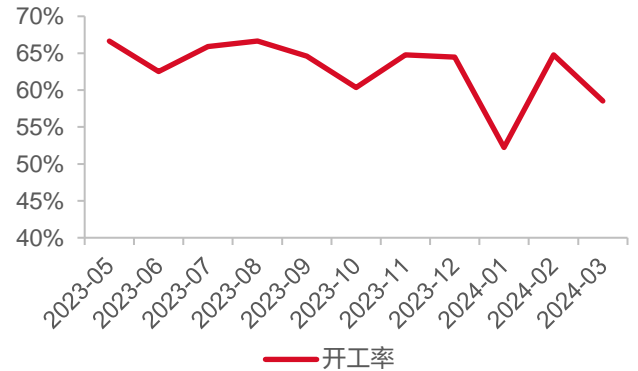
生物基化学品对于传统化工材料的替代价值体现在工艺降本、原料替代等方面。原料替代以聚酰胺为例，聚酰胺 66 是需求量最大的聚酰胺品种之一，但由于其原材料己二腈长期受到欧美企业供应制约，规模化生产受限，开工率持续低迷。聚酰胺 56 是我国自主开发的材料，由生物基戊二胺和石油基己二酸聚合而成，其化学结构与聚酰胺 66 类似，且具有高强耐磨、本体阻燃、吸湿快干、轻量柔软等独特优势，预计可替代聚酰胺 66 当前的部分应用场景。2023 年 7 月，招商局与凯赛生物签订合同，保障 2023-2025 年向后者采购生物基聚酰胺数量分别不低于 1 万吨、8 万吨和 20 万吨。生物基聚酰胺规模放量可期。

图15 PA66 产量、出口量及表观消费量（吨）



资料来源：百川盈孚，东海证券研究所

图16 PA66 开工率



资料来源：百川盈孚，东海证券研究所

工艺降本方面以氨基酸为例，生物法制氨基酸可以提高生物资源利用率，显著降低成本。对氨基酸合成关键酶、代谢网络等进行定向改造，可增加原料转化率，提高氨基酸产量。早在 2011 年，韩国希杰集团就在马来西亚建设世界首个生物蛋氨酸工厂，其生产的蛋氨酸比化学法合成的生物利用率提高了 20%~40%。国内华恒生物通过构建以可再生葡萄糖为原料厌氧发酵生产 L-丙氨酸的微生物细胞工厂，并在世界范围内首次成功实现了产业化，生产成本比传统技术降低 50%以上，有效减少了能源消耗，发酵过程无二氧化碳排放，经济和环境效益显著。公司的 L-缬氨酸同样复制经验，实现加速落地应用。阜丰集团联合天津科技大学，改良 L-谷氨酸发酵新工艺。在 780 kL 发酵罐中，发酵 34h 产量达到 230 g/L，平均糖酸转化率 73%，达到了国际领先水平。

表6 丙氨酸各生产工艺情况对比

项目	天然提取法	化学合成法	生物制造酶法	生物制造发酵法
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
环境友好程度	低	低	较高	高

资料来源：华恒生物招股书，东海证券研究所

3.投资建议

在国内外政策支持下，合成生物学技术不断进步，伴随生物基材料及其单体合成工艺的不断发展，合成生物学在化工行业的应用有望愈加广泛和深入。当前我国合成生物产品类公司发展迅速，而中上游的技术和商业模式还有待完善，我们认为当下生物基化学品项目的价值判断逻辑在于：1) 是否显著降低能耗，符合国家低碳发展路径。2) 产品与现有其他工艺路线相比，是否具备降本、增效或可转换性等替代价值。**建议关注凯赛生物**（引入与招商局的合作，生物基聚酰胺放量在即，潜在成长空间高达千万吨级）、**华恒生物**（高度重视专利积累，持续扩展产品图谱，以快速响应市场需求）。

4.风险提示

研发进度不及预期的风险。合成生物学处于研发发展阶段，研发进度或成果不及预期将影响企业产品生产及更新，对企业盈利造成影响。

产品产业化及销售不及预期的风险。合成生物学产品研发成功后，企业能否将其产业化以及后续能否顺利地推广和销售产品都存在不确定性，如果产业化及销售不及预期，将影响企业盈利水平。

生物安全及菌种泄密的风险。合成生物学企业的核心竞争力在于菌种，菌种泄密将对企业。

一、评级说明

	评级	说明
市场指数评级	看多	未来 6 个月内沪深 300 指数上升幅度达到或超过 20%
	看平	未来 6 个月内沪深 300 指数波动幅度在-20%—20%之间
	看空	未来 6 个月内沪深 300 指数下跌幅度达到或超过 20%
行业指数评级	超配	未来 6 个月内行业指数相对强于沪深 300 指数达到或超过 10%
	标配	未来 6 个月内行业指数相对沪深 300 指数在-10%—10%之间
	低配	未来 6 个月内行业指数相对弱于沪深 300 指数达到或超过 10%
公司股票评级	买入	未来 6 个月内股价相对强于沪深 300 指数达到或超过 15%
	增持	未来 6 个月内股价相对强于沪深 300 指数在 5%—15%之间
	中性	未来 6 个月内股价相对沪深 300 指数在-5%—5%之间
	减持	未来 6 个月内股价相对弱于沪深 300 指数 5%—15%之间
	卖出	未来 6 个月内股价相对弱于沪深 300 指数达到或超过 15%

二、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并注册为证券分析师,具备专业胜任能力,保证以专业严谨的研究方法和分析逻辑,采用合法合规的数据信息,审慎提出研究结论,独立、客观地出具本报告。

本报告中准确反映了署名分析师的个人研究观点和结论,不受任何第三方的授意或影响,其薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来,均与其在本报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

署名分析师本人及直系亲属与本报告中涉及的内容不存在任何利益关系。

三、免责声明:

本报告基于本公司研究所及研究人员认为合法合规的公开资料或实地调研的资料,但对这些信息的真实性、准确性和完整性不做任何保证。本报告仅反映研究人员个人出具本报告当时的分析和判断,并不代表东海证券股份有限公司,或任何其附属或联营公司的立场,本公司可能发表其他与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告可能因时间等因素的变化而变化从而导致与事实不完全一致,敬请关注本公司就同一主题所出具的相关后续研究报告及评论文章。在法律允许的情况下,本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易,并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告仅供“东海证券股份有限公司”客户、员工及经本公司许可的机构与个人阅读和参考。在任何情况下,本报告中的信息和意见均不构成对任何机构和个人的投资建议,任何形式的保证证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效,本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司客户如有任何疑问应当咨询独立财务顾问并独自进行投资判断。

本报告版权归“东海证券股份有限公司”所有,未经本公司书面授权,任何人不得对本报告进行任何形式的翻版、复制、刊登、发表或者引用。

四、资质声明:

东海证券股份有限公司是经中国证监会核准的合法证券经营机构,已经具备证券投资咨询业务资格。我们欢迎社会监督并提醒广大投资者,参与证券相关活动应当审慎选择具有相当资质的证券经营机构,注意防范非法证券活动。

上海 东海证券研究所

地址:上海市浦东新区东方路1928号 东海证券大厦
 网址: [Http://www.longone.com.cn](http://www.longone.com.cn)
 座机:(8621) 20333275
 手机:18221959689
 传真:(8621) 50585608
 邮编:200125

北京 东海证券研究所

地址:北京市西三环北路87号国际财经中心D座15F
 网址: [Http://www.longone.com.cn](http://www.longone.com.cn)
 座机:(8610) 59707105
 手机:18221959689
 传真:(8610) 59707100
 邮编:100089