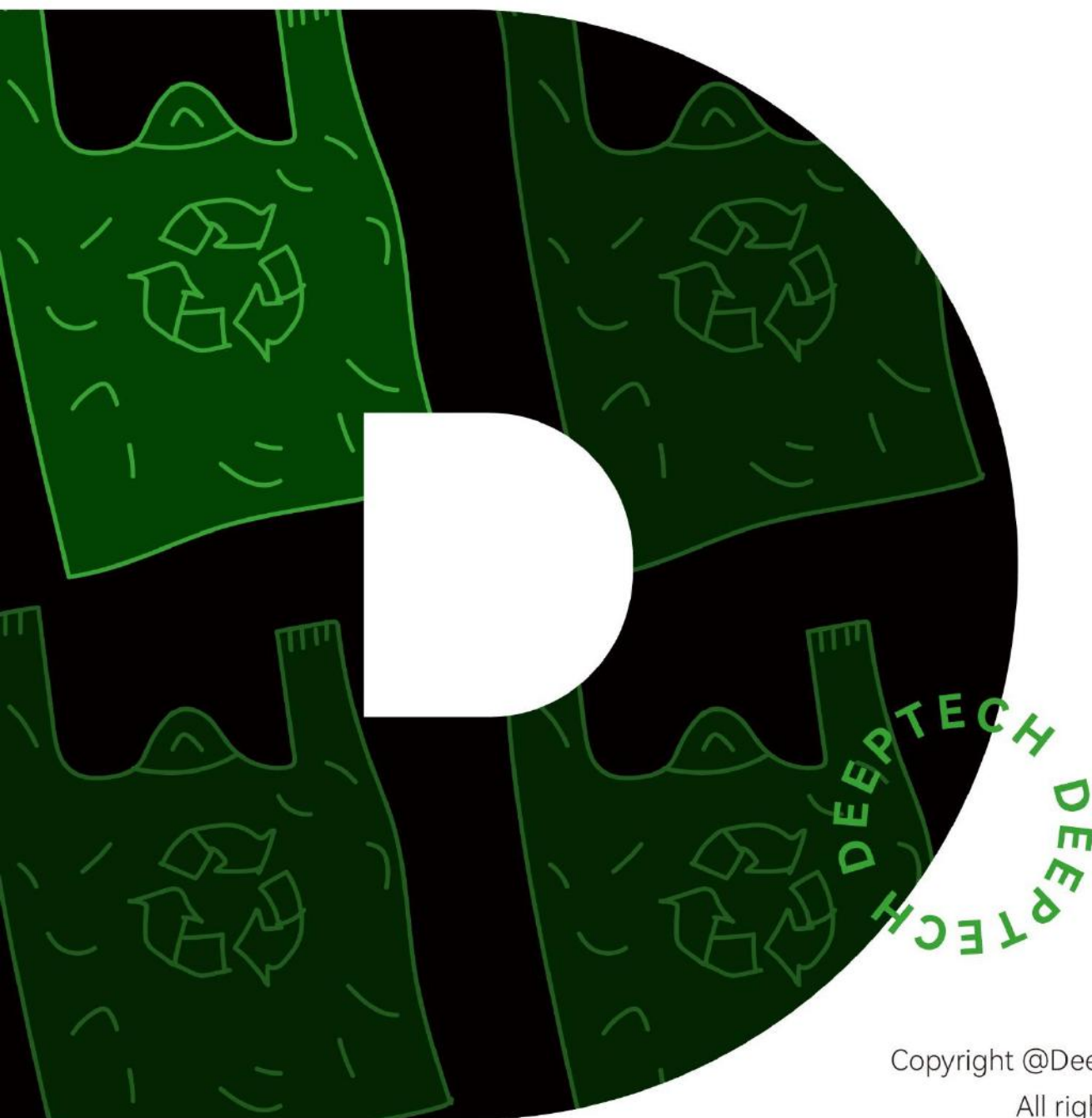




因势利导，白色治理 驶入创新快车道

2022年中国生物基可降解材料技术与
行业研究报告



DEEPTech

Copyright @DeepTech 2022.
All rights reserved.

找报告，上“数据理河”

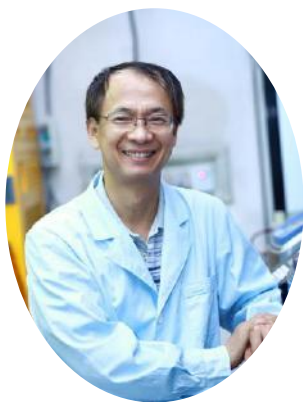
微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（18610100296）同步分享更新



因势利导，白色治理 驶入创新快车道

2022年中国生物基可降解材料技术与
行业研究报告

04	研究背景
06	Chapter 1 序曲 政策市场资本三轮驱动， 可降解材料产业迎风起势
14	Chapter 2 肯綮 PLA 技术及行业应用
25	Chapter 3 锋镝 PHA 技术及行业应用
35	Chapter 4 乘风 技术创新力增强反哺产业， 生物手段赋能传统制造将改变供应格局
43	结语
45	版权说明



“双碳”目标、环境污染等问题已经迫在眉睫。为减少不易降解的石化塑料造成的白色污染，我们一直在寻找可降解材料，生物制造是路径之一。在化工领域，生物基可降解材料也可用合成生物学的方法来做，PHA、PLA等都有对应广阔的市场。

从当前国内外最新的合成生物学技术进展来看，若能产生核心突破，如对微生物进行基因操作，将会对行业产生重大颠覆。尤其是在微生物发酵生产新材料部分，一些小分子化学品、高分子、中间体等，会有较大发展。

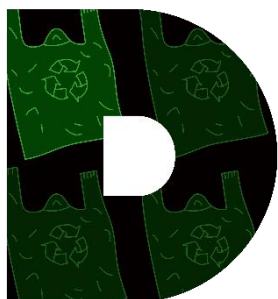
再过五年、十年，中国在各个生物制造领域会达到世界一流水平。未来非常重要的一点是，在某个大众领域出现新的爆款产品，能使家家户户都切实感觉到合成生物学在解决大众的问题。

本研究报告对中国生物基可降解材料技术和行业进行了非常仔细的调研和分析，产生了客观的结论，对行业的投资人，技术发明和跟踪人以及相关企业很有参考价值。

——清华大学生命科学院化学工程系

教授 陈国强博士

研究背景与研究思路



生物基材料既属于科技行业，也属于低碳行业，被发改委列入《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》。生物基可降解塑料是生物基材料应用最为广泛的类型之一，本报告对生物基可降解材料的研究重点集中于生物基可降解塑料，同时也包括其他典型非塑料场景。

基于“双碳”背景，锚定绿色生物制造的目标，生物基可降解材料得益于优秀的碳减排能力，成为替代和补充石化基材料的最佳选择。多个国家地区掀起“限塑禁塑”热潮，将可降解材料产业推上风口浪尖。

本报告以技术发展为切入点，聚焦最具商业前景产品 PLA（聚乳酸）、最具创新力产品 PHA（聚羟基脂肪酸酯），以产学研情况为主轴，从政策驱动到产业成果复盘中国降解材料发展历程，纵览可降解材料行业现状、生态前景。此外，本报告系统地梳理关注生物基降解材料技术的企业、科研院所、专业人才、资本等，深刻剖析当前积极推进技术产业化的中坚力量，研判技术及产业化面临的挑战与机遇。

名词释义

降解 (degradation) : 受环境条件的影响, 经过一定时间和包含一个或多个步骤, 结构发生显著变化、性能丧失 (如: 完整性、相对分子质量、结构或力学强度) 的过程。

可降解塑料 (degradable plastic) : 指在自然界如土壤和 / 或沙土等条件下, 和 / 或特定条件如堆肥化条件下或厌氧消化条件下或水性培养液中, 由自然界存在的微生物作用引起降解, 经过一段时间和包含一个或更多步骤, 导致材料化学结构的显著变化而损失某些性能 (如完整性、分子质量、结构或机械强度) 或发生破碎的塑料。

生物基材料 (bio-based Materials) : 是指利用可再生生物质或经由生物制造得到的原料, 通过生物、化学、物理等手段制造的一类新型材料, 如生物塑料、生物质功能高分子材料等。生物基材料区别于用煤、石油等不可再生石化资源为原料生产的传统化工材料产品, 其具有原料可再生、减少碳排放、节约能源等特性, 部分品类还具有良好的生物可降解性, 是新材料产业发展的重要方向。

聚乳酸 (PLA) : 聚乳酸是以乳酸为主要原料聚合得到的聚合物, 原料来源充分而且可以再生。聚乳酸的生产过程无污染, 而且产品可以生物降解, 实现在自然界中的循环, 因此是理想的绿色高分子材料。

聚羟基脂肪酸酯 (PHA) : PHA 是由很多微生物合成的一种细胞内聚酯, 是一种天然的高分子生物材料, 同时具有良好的生物相容性、生物可降解性和热塑性, 可作为生物医用材料和生物可降解包装材料等。



Chapter 1 序曲

政策、市场与资本三轮驱动，可降解材料产业迎风起势

- 背景：生物基材料细分产品众多
- 政策：“限塑令”叠加“两会最强音”，可降解材料产业迎风起势
- 呼吁：后石油时代白色污染治理迫在眉睫
- 研发：学术领军人为技术打下坚实基础，青年学者不断求索勇攀高峰
- 专利：成果和发展趋势以聚乳酸、复合材料、高分子材料等为主要方向
- 资本：围猎碳中和，可降解材料企业屡获融资

背景：生物基材料细分产品众多

生物基材料按可降解与否分类可分为生物基可降解材料与生物基不可降解材料，其中，生物基可降解材料具有传统石油塑料等高分子材料不具备的绿色、环境友好、原料可再生以及可生物降解的特性。

按是否为聚合物分类可分为生物基聚合物（生物基塑料）与生物基非聚合物。

生物基可降解塑料是生物基材料应用最为广泛的类型之一，本报告对生物基可降解材料的研究重点集中于生物基可降解塑料部分，同时也包括其他非塑料场景。

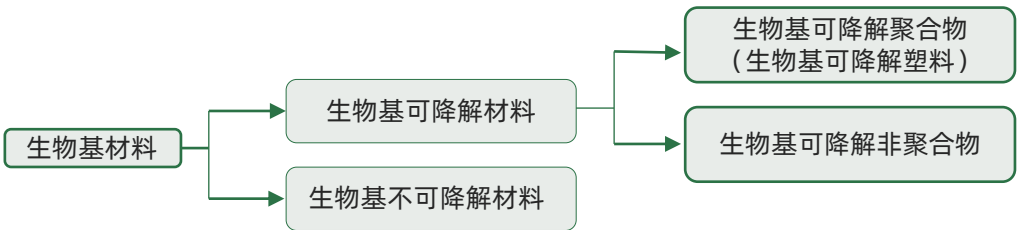


图 1 | 生物基材料按能否降解分类（来源：DeepTech）

	类型	产品
生物基非聚合物	生物基复合材料	淀粉基塑料材料及制品、木塑材料、竹塑材料
	其他生物基制品	功能糖产品、化妆品、护肤品、生物柴油
	生物基橡胶	生物基植物橡胶、生物基合成橡胶
	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
	生物基化学纤维	海洋生物基纤维、生物基可再生纤维、生物基合成纤维
	生物基材料助剂	生物基阻燃剂、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
生物基聚合物	生物基聚合物（塑料）	环氧树脂（EPO）、聚氨酯（PU）、醋酸纤维（CA）、聚对苯二甲酸乙二醇（PET）、聚对苯而就按丙二酯（PTT）、三元乙丙橡胶（EPDM）、聚乙烯（PE）、聚丁二酸丁二醇酯（PBS）、聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯（PBAT）、聚酰胺（PA）、聚羟基脂肪酸酯（PHA）、聚乳酸（PLA）、淀粉混合物

表 1 | 生物基材料按是否为聚合物分类（来源：DeepTech）

政策：“限塑令”叠加“两会最强音”，可降解材料产业迎风起势

从“限塑令”至“禁塑令”，政策在三个阶段呈现出宏观向微观、由指导性政策向强制性政策发展的特点，可降解塑料产业迎发展蓝海。2022 年以来全球首个“限塑令”发布叠加两会最强音，可降解材料产业迎风起势。

- 2021** 《“十四五”工业绿色发展规划》：多种生物基材料纳入了原材料重点任务，同时加强对生物基材料的研究与投入，提高国家自主贡献力度。
- 2022** **两会可降解塑料最强音**：2022 年两会期间，针对如何解决现阶段的塑料危机，提案围绕标准体系、评价体系、可循环等话题，对可降解塑料产业提出新的部署建议。
- 联合国环境大会第五届会议续会**：会议于 2022 年 2 月 28 日至 3 月 2 日召开，重点讨论了全球塑料污染问题，全球首个“限塑令”发布，提出终结塑料污染，并在 2024 年前达成一项具有国际法律约束力的协议。



图 2 | “限塑禁塑”政策在三个阶段的不同表现（来源：政府官网、DeepTech）

呼吁：后石油时代白色污染治理迫在眉睫，可降解塑料由于其环保特性成为替代和补充化石基材料的有益选择

现代人的生活离不开塑料，越来越多的人也注意到塑料带来的污染。需求和白色污染之间的矛盾该如何解决？

- **从市场规模看**，无论是日常生活还是工业制造，人类的进步与塑料息息相关，全球每年使用塑料袋约 1 万亿个，塑料瓶约 2000 亿个。新冠疫情亦催生全球对塑料制品的需求，疫情防控期间全球塑料包装市场规模从 2019 年的 9092 亿美元增长到 2021 年的 10126 亿美元。
- **从环保端看**，能源危机与环境危机亟待解决。当前社会已进入以化石能源为主要特征的后石油时代，过度开采违背自然规律导致化石资源日益枯竭，造成温室效应、全球生态失衡和人类生存环境恶化。与此同时，废塑料造成的“白色污染”日益严重，全球每年产生约 3 亿吨塑料垃圾，其中超过 800 万吨的塑料进入海洋，相当于每分钟向大海倾倒入满满一辆垃圾车的塑料。难以降解的塑料袋、塑料瓶，将在大自然中存在数百年之久。

可降解材料存在较大环保优势，成为替代和补充石化基材料的有益选择。

以 PLA 为例，可降解塑料碳排放量明显低于传统塑料。得益于其优秀的温室气体减排能力，可降解塑料受到了广泛关注。从长远看，**可降解塑料能从根本上解决环境危机和能源危机等困境。**

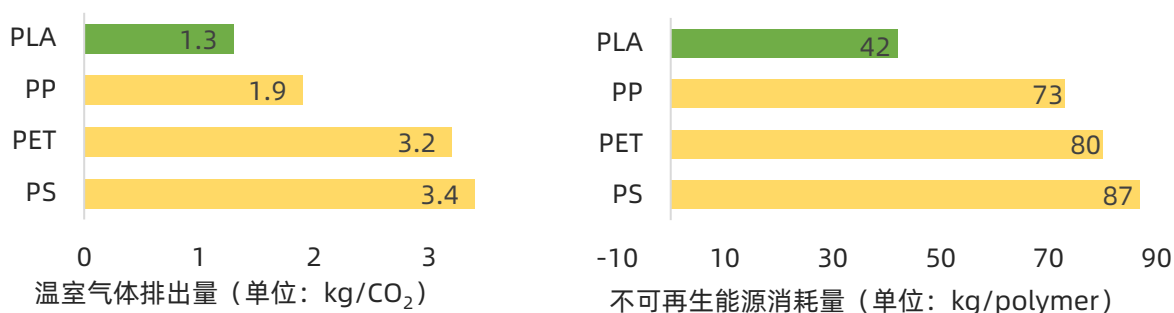


图 3 | PLA 环保优势 (来源: BusinessWire、DeepTech)

研发：学术领军人为技术打下坚实基础，青年学者不断求索

学术领军人

陈国强

清华大学生命科学院化学工程系教授，清华大学合成生物学中心主任

陈金州

郑州大学教授

陈学军

中国科学院天津工业生物技术研究所

郭宝华

清华大学高分子研究所所长

蹇锡高

中国工程院院士，大连理工大学教授，高分子材料研究所所长

王玉忠

四川大学化学学院教授

王献红

中科院长春应用化学所研究员

谢尚县

华中科技大学生命科学与技术学院教授

赵京波

北京化工大学材料科学与工程学院教授

*仅为部分呈现；按姓名拼音首字母排序

学科带头人及青年学者

陈振

清华大学化工系副教授

黄勇

中国科学院理化技术研究所研究员

孔庆山

中科院青岛能源与过程研究所研究员

刘小青

中科院宁波材料所研究员

马丕明

江南大学化学与材料工程学院教授，副院长

任杰

同济大学材料科学与工程学院教授

陶飞

上海交大学生命科学技术学院研究员

王润国

北京化工大学材料科学与工程学院教授

王万杰

郑州大学材料科学与工程学院副教授，副院长

余彬

中国科学技术大学教授

于彦存

中科院长春应用化学研究所研究员

张兴宏

浙江大学高分子科学与工程学系副教授

*仅为部分呈现；按姓名拼音首字母排序

中国部分代表性科研机构 and 人才资源图景

高校技术团队

中科院宁波材料所陈景研、朱锦团队

木质素基聚氨酯泡沫敷料方面取得新进展

长春应化所张洪杰院士团队

通过大肠杆菌合成智能生物塑料

兰州化物所李福伟团队

生物基可降解聚酯单体制备喜迎新进展

湖北工业大学赵西坡团队

支化聚乳酸的制备及其在改性聚乳酸中的应用研究进展

上海交通大学陶飞研究员团队

利用蓝藻细胞工厂以 CO₂ 为原料，从头合成生产聚乳酸

中科院长春应化所陈学思院士团队

在功能化聚乳酸的制备方面取得重大突破

青岛能源所王庆刚团队

废弃聚乳酸降解再聚合化学循环新策略

东华大学武培怡/侯磊团队

在对高分子分子间相互作用机理的研究取得重大进展

*仅为部分呈现；没有先后顺序

科研院所



图 4 | 中国可降解材料相关高校及代表科研机构

(仅为部分呈现，没有先后顺序；来源：各高校及科研机构官网、DeepTech)

专利：成果和发展趋势以聚乳酸、复合材料、高分子材料等为主要方向

就专利发布数量来看，2010 至 2021 年中国生物基可降解材料专利申请数量逐年递增，该领域内创新力不断提升。此处检索词条为“生物基可降解材料”。

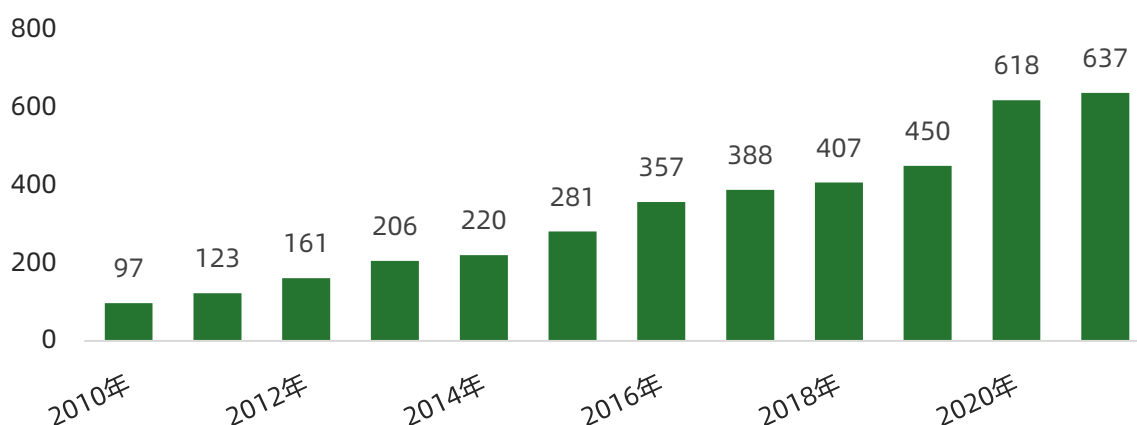


图 5 | 中国生物基可降解材料专利申请数（件）（数据来源：智慧芽）

生物基可降解材料技术创新词集中在聚乳酸、复合材料、塑料薄膜、高分子材料等。可以期待未来产业相关创新也将重点基于上述关键词展开。



图 6 | 生物基可降解材料专利技术创新词云（数据来源：智慧芽）

资本：围猎碳中和，可降解材料企业屡获融资

在“双碳”目标驱动之下，中国资本市场对 ESG 投资有着相当程度的需求，尤其是与生态保护、低碳转型等相关的领域。生物基可降解材料产业作为“双碳”路上的重要环节，也迎来可观的融资需求与投资机会。

以此为背景，生物基可降解材料赛道在近年来掀起了投融资高潮。目前，中国专注于降解材料制造的公司融资阶段多集中在早期，企业成长性较大。2022 年 1 月中旬，蓝晶微生物宣布完成 B 系列 15 亿元融资，刷新中国一级市场同赛道企业的融资纪录，此轮投资方为三一创新、中平资本、元生资本、国家混改基金、碧桂园创投。此外，合成生物学企业微构工场在 2022 年 1 月完成了 2.5 亿元 A 轮融资。

主营业务	企业名称	融资日期	融资轮次	金额	投资机构
聚乳酸	艾道博环保	2020.3.19	未披露	未披露	南京市产业发展基金
聚乳酸	海正生物材料	2020.12.31	战略融资	未披露	中国石化
聚乳酸	江西科院生物新材料有限公司	2021.9.24	股权转让	2894 万元	联泓新材料
聚乳酸	禾尔斯环保	2021.11.23	Pre-A 轮	未披露	深创投
PHAs	蓝晶微生物	2022.1.10	B 轮	15 亿元	元生资本、中国国有企业混改基金、中平资本、黄海金控、中州蓝海、峰瑞资本、碧桂园创投
PHAs	微构工场	2022.1.17	A 轮	2.5 亿元	中国国有企业混改基金、国中资本、众海投资、临空兴融投资、红杉中国
聚乳酸	旗禾科技（吉林）有限责任公司	2022.1.26	天使轮	未披露	天津鼎佳、国富资产、金塔股权

表 2 | 中国生物基可降解材料相关企业部分投融资事件（来源：公开资料、DeepTech）



Chapter 2 肯綮 PLA 产业化及应用情况

- 技术意义：PLA 无毒且可完全生物降解，符合“碳中和”政策的引导方向
- 技术溯源：工业化初具规模，双环节共同决定产品质量，产研合作助力突破丙交酯聚合瓶颈
- 产业链路：原料、制品、应用三足鼎立，头部企业力争打通全产业链
- 商业现状：聚乳酸需求旺盛，各生产商正积极投资及扩产
- 行业图景：三类企业各具业务优势

技术意义：PLA 无毒且可完全生物降解，符合“碳中和”政策的引导方向

PLA（聚乳酸）是一种无毒、可完全生物降解的聚合物。它不仅具有较好的化学惰性、易加工性，而且还具有良好的生物相容性，是最有前途的可生物降解高分子材料之一。聚乳酸的特点包括形成生物质资源循环体系、符合“碳中和”政策的引导方向、制品的处置方式多样、具备良好的性能以及环境友好性。



图 7 | PLA（聚乳酸）特性（来源：DeepTech）

聚乳酸研发重点在于什么？

聚乳酸的研发集中于对聚乳酸的合成与改性两方面，即在不断改进、简化和缩短 PLA 的合成工艺的同时，用新材料、新方法对 PLA 改性，开发出新用途、高性能的 PLA 材料。

聚乳酸改性方法包括什么？

改性方法包括增塑改性、共聚改性、交联改性、复合改性四类。

- 增塑改性：在高聚物中混溶一定量的高沸点、低挥发性的低分子量物质，改善其机械性能与加工性能；
- 共聚改性：在聚乳酸的主链中引入另一种分子链，使得 PLA 大分子链的规整度和结晶度降低；
- 交联改性：在交联剂或辐射作用下，通过加入其它单体与聚乳酸发生交联反应，生成网状聚合物改善其性能；
- 复合改性：将聚乳酸与其他材料复合，旨在解决聚乳酸脆性问题，达到增强目的。



图 8 | PLA（聚乳酸）工艺路线概览（来源：DeepTech）

技术溯源：工业化初具规模，双环节共同决定产品质量，产研合作助力突破丙交酯聚合瓶颈

1. 工业化初具规模

1950 - 1960s

1954 年，美国杜邦公司开始用间接的方法制备聚乳酸。丙交酯→纯化好的丙交酯进行开环聚合→高分子量的聚乳酸。



图 9 | Wallace Carothers
(来源：公开资料)

1932 年，高分子之父 Wallace Carothers 将乳酸在有溶剂和真空的状态下反应得到了聚乳酸，由于合成的聚乳酸熔点太低，成本过高不能进行相应的应用便就放弃了聚乳酸的研究，进而发明了尼龙。

1962 年，Cyanamid 公司发现用聚乳酸酯做成的手术缝合线可被机体吸收，其降解产物乳酸、CO₂ 和水均是无害的天然小分子。

1970 - 1980s

70年代，聚乳酸在人体内的降解性和分解产物的高度安全得到确认。

- 1971 年，聚乳酸作为可吸收外科手术缝合线和可降解的体内植入材料及支撑材料等而受到人们的重视。
- 1976 年，Yolles 等报道了聚乳酸可广泛用作药物抗释体系的载体。

1990s

90 年代以来，环保意识增强致使人们对可降解材料特别是可生物降解的聚乳酸越来越重视，此时研发端聚焦在聚乳酸的性能及合成技术和工艺改进方面，这一时期的研究十分活跃，并取得了一定的成果。

2000s

中国科学院长春应用化学研究所联合海正集团于 2007 年建成中国首条 5000t 级 PLA 中试生产线。

2010s

2014 年底，中国已有一条万吨 PLA 生产线建成。至此，中国 PLA 产业化进入了新领域。

目前，中国对聚乳酸的研究和开发已取得一定的进展，初步实现由实验室迈向工业化生产的阶段，且产业初具规模。

技术溯源：工业化初具规模，双关键环节共同决定产品质量，产研合力突破丙交酯聚合瓶颈

2. 乳酸纯度与丙交酯聚合度共同决定产品质量

聚乳酸是如何合成的？

聚乳酸是以乳酸或乳酸的二聚体丙交酯为单体，通过聚合的方式得到的高分子聚酯型新材料。

乳酸是一种手性分子，具有两种旋光异构体，分别为左旋的 L - 乳酸和右旋的 D - 乳酸。目前乳酸纯度是影响聚乳酸产物性质的关键环节之一。

目前制备聚乳酸的方法分为一步法和两步法，即丙交酯开环聚合法和直接缩聚法。

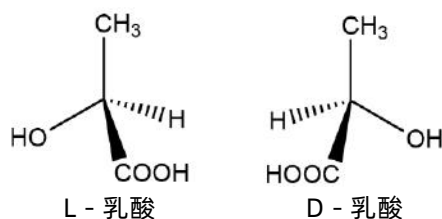


图 10 | 乳酸手性分子的两种旋光异构体

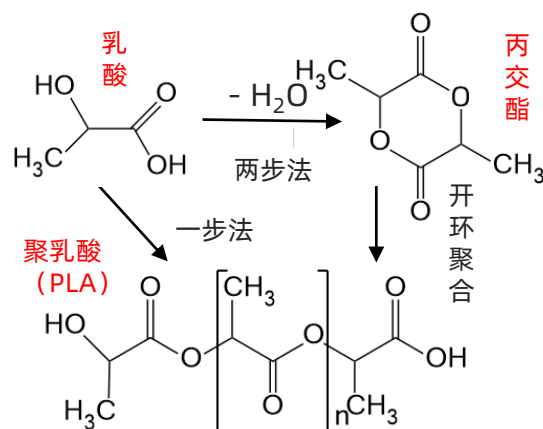


图 11 | 一步法与两步法
(来源：CNKI、DeepTech)

聚乳酸的产业化程度以及技术难点如何？

PLA 目前是产业化最成熟、产量最大、应用最广泛的生物基可降解材料。合成手段包括原料反应、化学过程、物理过程三大阶段。**工业上采用的主要是开环聚合法，产业链技术难点在于丙交酯的合成和纯化。**

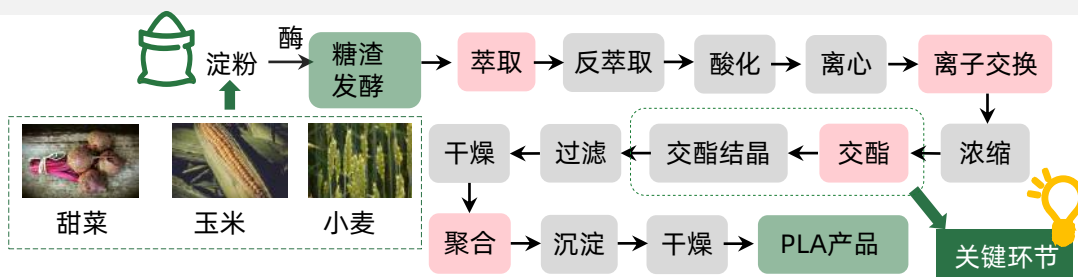


图 12 | PLA 合成技术工艺路线 (来源：《当代化工》、DeepTech)

技术溯源：工业化初具规模，双环节共同决定产品质量，产研合作助力突破丙交酯聚合瓶颈

一步法是指乳酸分子通过脱水缩聚反应制备 PLA 的过程；两步法是指将乳酸先脱水生成低聚物，然后解聚生成丙交酯，再开环聚合制得 PLA 的过程。

作为 PLA 合成的两种主流方式，一步法、两步法各具优劣势。

一步法核心技术在于副产物水分的脱除，目前鲜有企业可实现一步法制备聚乳酸工艺的落地。它的**优势**在于产率高、流程简短、工艺简单、产物聚乳酸不含催化剂，以及成本低；**劣势**在于：一是原料只能使用纯净乳酸；二是随着反应的进行体系黏度越来越大，副产物水在粘性熔融物中难以除去，很难保证反应向生成聚合物方向进行，易发生解聚；三是产物聚乳酸分子量较低，应用场景有所限制。

两步法核心技术在于丙交酯的合成和纯化。它的**优势**在于：一是原料乳酸纯度要求不高；二是丙交酯的纯度及反应条件可控，以生产高分子量及化学结构可控、力学性能较好的 PLA；**劣势**在于粗丙交酯中含水、乳酸、乳酸低聚物等杂质，丙交酯的纯度和产率会直接影响聚乳酸的质量和生产成本，丙交酯必须提纯才能聚合得到高分子量的产品；二是整个过程需要在高温、负压催化的条件下进行，工艺过程复杂，成本较高。

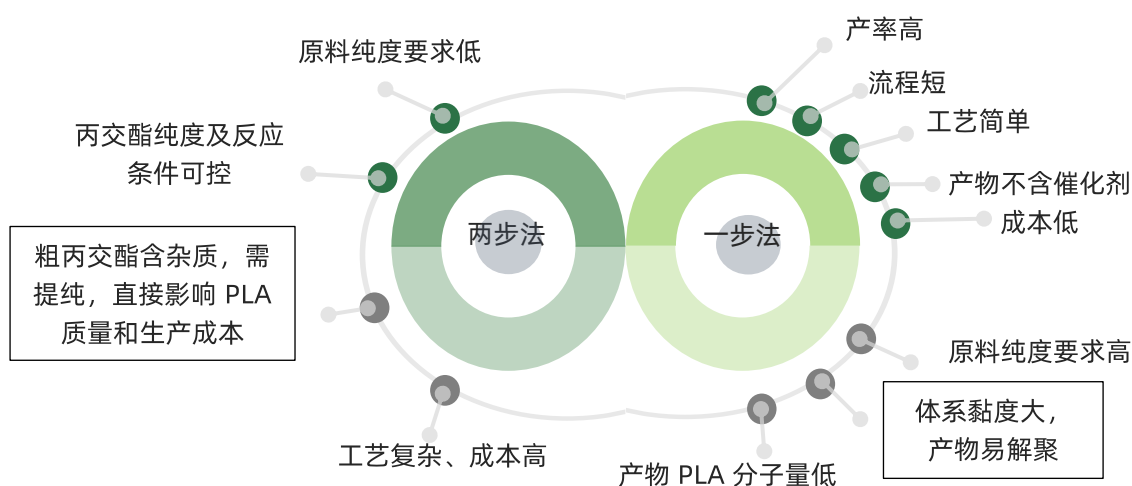


图 13 | PLA 两种合成方式的优劣势（来源：《当代化工》、DeepTech）

技术溯源：工业化初具规模，双环节共同决定产品质量，产研合作助力突破聚乳酸关键技术瓶颈

3.企业与科研机构合作研发，力图突破聚乳酸制造关键技术瓶颈

中国 PLA 贸易逆差较高，归因于聚乳酸生产技术壁垒高，全产业链的国际依存度较高。近十年中国聚乳酸进口数量受需求的推动迅速攀升，2017 年首破 1 万吨后，于 2020 年迅速增长至 2.57 万吨，年复合增长率接近 37%。为应对这一情况，业界与学界均做了大量努力试图突破聚乳酸制造关键技术瓶颈。

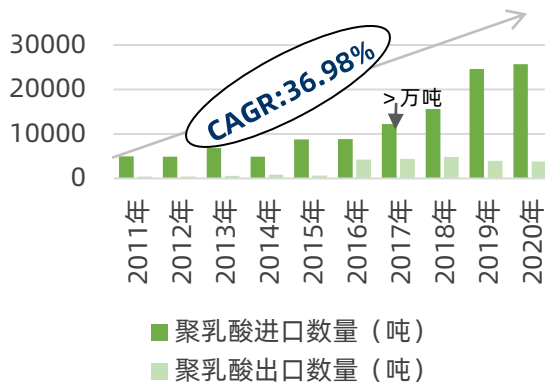


图 14 | 中国聚乳酸进出口数量
(来源：海关总署、DeepTech)

中国聚乳酸技术研发主要依靠企业与科研机构合作。中国许多企业正在大力研发丙交酯生产技术，试图攻破 PLA 产业技术壁垒，打通“乳酸 - 丙交酯 - 聚乳酸”全产业链，增强成本优势。

上海同杰良公司技术来自同济大学，采用一步法生产工艺，现已具备“乳酸 - 聚乳酸”的生产能力。**浙江海正**丙交酯技术工艺来自于长春应化所，其丙交酯成功实现生产，能够实现部分自供，公司依托生物技术方面积累，持续向聚乳酸上下游产业链延伸，但目前公司缺乏原材料乳酸生产，需要向中国金丹科技等企业采购。**金丹科技**和南京大学合作，采用有机胍催化工艺，尝试打通“乳酸 - 丙交酯”产业链，中试结果较好，成本有望随工程化能力提高而持续降低。

上海同杰良&同济大学	浙江海正&长春应化所	金丹科技&南京大学
一步法生产工艺； 具备“乳酸 - 聚乳酸”生产能力。	具备从乳酸和丙交酯两条路线合成聚乳酸的能力； 缺乏乳酸生产力，需从外部企业采购；可生产丙交酯，实现部分自供。	具备乳酸生产能力； 正打通“乳酸 - 丙交酯”产业链，尝试生产中间体丙交酯。

图 15 | 中国聚乳酸研发企业与科研机构合作情况 (来源：DeepTech)

产业链：原料、制品、应用三足鼎立，头部企业力争打通全产业链

PLA 原料丙交酯的上游是乳酸，来源于玉米等生物质原料的发酵，其获取来源通过三代工艺的改变——从一代以玉米和小麦为原料再到木薯和甘蔗，到第三代以秸秆或农业废弃物为原料，目前仍以玉米为主。

从玉米的总体供应情况来看，2011 年以来中国玉米产量占粮食总产量的约 40%。

- 产量方面，玉米产量从 2011 年的 2.11 亿吨增长至 2015 年的 2.65 亿吨之后，逐渐回落并稳定在 2.60 亿吨左右。
- 进口量方面，相比之下中国玉米的进口数量较少。2012 至 2019 年玉米进口数量总体保持在 300 - 500 万吨，均在进口配额以内；2020 年，受中国饲料需求增加的影响，玉米进口数量增至 1130 万吨，但与产量相比仍然较小。2021 年，玉米进口数量进一步提升。

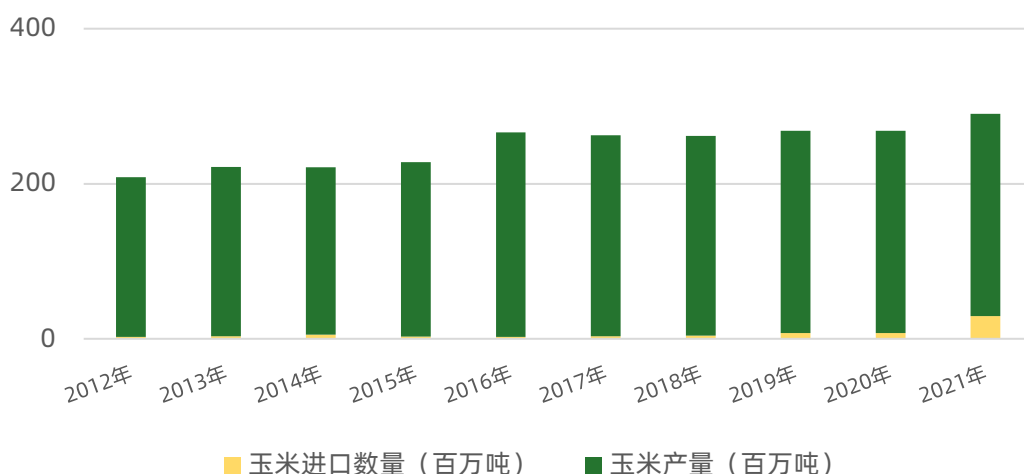


图 16 | 中国玉米供应量变化情况 (来源: Choice、DeepTech)

值得注意的是，传统 PLA 制造方式以粮食作为生产材料，会导致材料与粮食供应存在一定的资源竞争，因此以非粮原料为基础的新一代 PLA 工业生产技术亟待开发。

产业链路：原料、制品、应用三足鼎立，头部企业力争打通全产业链

下游应用情况如何？以聚乳酸为基础材料制得的生物全降解产品在功能上可完全替代一次性塑料制品，是高效治理“白色污染”的关键，集中应用在塑料工业、纺织业、医药行业、农业、机械制造行业等。

塑料工业

聚乳酸可用于电子产品外壳及零部件。运用聚乳酸及其复合改性材料（如聚乳酸合金），实现可折叠、可扭曲、可锻制、可伸展的电子材料加工制备。此外聚乳酸还可用于儿童玩具、包装包材、一次性餐具等领域。

农业

生物可降解地膜作为近年来的研究热点之一，不仅具备了普通塑料膜的增温保墒功能，而且在一定的时间后会在自然状态下完全分解，不影响作物的生长，是解决农田白色污染的有效途径。

纺织业

高聚合度聚乳酸通过工艺手段制得聚乳酸纤维，生产的面料具有良好的悬垂性、水扩散性、抗污性、加工性能、卷曲稳定性，适用于各种时装、休闲装、个人护理用品、运动服饰、运动护具、户外运动休闲用品等，应用前景良好、产业规模较大，具有可观的市场需求。

机械制造行业

聚乳酸通过注塑加工、挤压与锻造、增材制造，可快捷制造材料零件或部件，实现轻量化整体制作、便捷安装、单独拆卸、回收再加工。聚乳酸材料零部件的使用，对产品的小批量、短周期、个性化、柔性化生产，也可挖掘在国防军工、航空航天等重大领域中的应用。

医药行业

聚乳酸除一次性医用口罩、手套、床单、护垫、器皿外，在体内医用材料方向也有广泛应用，如可吸收螺钉、手术线，可用作人体组织修补的纤维编织物或膜材料，骨折内固定材料，眼科植入材料等。医用聚乳酸也可用作药物控释材料，在现代药物与剂型升级发展方面具有特殊的应用价值。



图 17 | 聚乳酸主要应用场景（来源：DeepTech）

产业链路：原料、制品、应用三足鼎立，头部企业力争打通全产业链

除上文所述企业，其他产业头部企业亦致力于打通全 PLA 全产业链环节。在国际贸易形势不容乐观、中国经济转型、产业升级的大背景下，完整掌握了聚乳酸制备工艺的企业将从中受益。

中粮科技依次打通了改性生产 PLA 制品、聚合生产 PLA 原料与发酵生产 PLA 单体——乳酸的全产业链生产工艺，增强 PLA 产品的供给与产业化能力。其从理论、工艺到装备全方位突破了国外对高光纯丙交酯产品的技术垄断。特别是“两级浓缩 - 两步缩聚 - 全程控温”的连续反应新工艺，显著提高了产率和光学纯度，降低了生产成本。

金丹科技立足乳酸生产积极布局聚乳酸 PLA 产业链。其目前拥有 12.8 万吨乳酸及盐产能，是中国最大也是全球主要的乳酸生产企业，一方面继续夯实乳酸主业，一方面延伸产业链进军 PLA 行业。其拥有完整的、自主研发的高效工程菌种的选育、乳酸及衍生产品的制备、提纯等多项核心技术。

万华化学协同布局 PBAT 与 PLA，进军可降解塑料领域。目前，万华实验室已经攻破 PLA 产品的技术难点，开始准备中试，届时将实现乳酸单体制造技术的国产化，打通聚乳酸产业完整链条。

道恩股份加大研发投入，储备可降解塑料技术。其青岛研发中心通过聚合物共混改性，已开发出 PLA/PBAT 合金性能可调生物可降解材料及淀粉填充完全生物可降解材料等，储备了可降解塑料技术，形成了系列产品储备。

商业现状：聚乳酸需求旺盛，各生产商正积极投资及扩产

从市场需求来看，随着中外环保政策趋严以及“限塑禁塑”政策的稳步推进，聚乳酸产品下游市场迅速扩大。根据中国塑协降解塑料专业委员会数据，预计到 2025 年，中国 PLA 市场规模将突破 300 亿元。

企业正加快 PLA 产能布局。从现有产能看，受制于技术水平、生产规模等因素，目前中国 PLA 市场分散度较高。河北华丹和丰原集团都拥有 5 万吨/年产能，位列中国 PLA 企业的领先地位。浙江海正目前拥有 4.5 万吨/年产能，且其称已自主掌握丙交酯（聚乳酸中间体）等核心技术，能够夯实推进中国聚乳酸的产业化发展。从在建产能看，PLA 新增产能行业集中度较高，浙江友诚、丰原集团、同邦新材料的在建产能均在 30 万吨/年及以上量级，较现有产能有显著提升。

下游需求旺盛进一步推动中国各生产商积极投资及扩产。预计当中国企业陆续打通技术难点丙交酯的产业链后，PLA 投产将继续加快，产业发展前景愈加明朗。

中国 PLA 现有产能分布			中国 PLA 在建产能分布		
企业	地区	产能（万吨/年）	企业	地区	产能（万吨/年）
河北华丹	河北	5	浙江友诚	浙江	50
丰原集团	安徽	5	丰原集团	安徽	40
浙江海正	浙江	4.5	同邦新材料	山东	30
吉林中粮生化	吉林	3	山东泓达生物	山东	16
永乐生物	河南	2	东部湾生物	上海	8
深圳易生	深圳	1	永乐生物	河南	8
上海同杰良	上海	1	浙江海正	浙江	3
光华伟业	深圳	1	金发科技	广东	3
江苏天仁	江苏	0.5	金丹科技	河南	1
江苏九鼎	江苏	0.5	河南龙都天仁	河南	1
合计	/	23.5	合计	/	160

表 3 | 中国 PLA 现有及在建产能分布情况（来源：公开资料、DeepTech）

行业图景：三类企业各具优势，共同推动技术创新水平

纵观中国聚乳酸行业发展局面，以原料乳酸自给情况作为界定，主要有三种类型企业。

第一类是以海正为代表的企业，其业务专注于聚乳酸的生产，需要从外部采购高光纯乳酸以满足原材料需求；第二类是以金丹科技为代表的企业，其高光纯乳酸产能超过其自有丙交酯和聚乳酸生产线的原料需求，可以对外销售高光纯乳酸；第三类是以丰原生物为代表的企业，其高光纯乳酸和聚乳酸产能相互匹配，生产的高光纯乳酸优先满足其自有丙交酯和聚乳酸生产线使用。

这三类企业在推动技术创新水平方面均发挥了重要作用，同时笃志于助力产业完成由“两头在外”局面向“内外双循环”格局转变的发展，一同构成中国现有聚乳酸行业厂商图景。

中国聚乳酸企业图景



图18 | 中国聚乳酸（部分）企业图景（来源：DeepTech）

作为最主流的工艺，掌握“两步法”工艺量产技术的情况可代表企业实际技术水平。

企业名称	掌握“两步法”工艺量产技术的情况
海正生物	掌握完整的“两步法”工艺并已实现稳定量产
丰原生物	
金丹科技	掌握“乳酸—丙交酯”工段生产技术
中粮科技	掌握“丙交酯—聚乳酸”工段生产技术
金发科技	未披露其掌握“两步法”工艺量产技术的情况

表 4 | 中国主要企业对“两步法”工艺量产技术的掌握情况（来源：DeepTech）



Chapter 3 锋镝

PHA 产业化及应用情况

- 技术意义：PHA 具有五大优势，在不同生物降解材料里碳中和得分最高
- 技术溯源：材料学性质取决于单体组成，合成生物学手段赋能 PHA 生产，两方面共同促进产品商业化进程
- 产业链路：原料端创新力聚焦绿色生产，应用端在高附加值领域前景广阔
- 商业现状及行业图景：市场需求水涨船高，PHA 迎来发展黄金时代

技术意义：PHA 具有五大优势，在不同生物降解材料里碳中和得分最高

PHA 在不同生物降解材料中碳中和得分最高，在“双碳”政策和高质量发展政策推进的当下，具有重要意义。

PHA 是唯一能在海洋和土壤中快速降解的材料，其降解产物是人类天然存在的能量分子，从 E（环境）的角度看，PHA 具备环境友好属性。而通过技术手段降成本让农民用得起生物材料农用地膜，成分可取自天然废料、不与人争粮等动作，都体现了对 S（社会）的关怀。

总体来说，PHA 具有五大优势、六大优秀特性，被广泛应用于化工、包装、医疗、农业、日用、军工等领域。得益于其良好的生物相容性，PHA 在高附加值的医疗领域应用较为广泛，可以作为医学和治疗应用的生物植入材料。

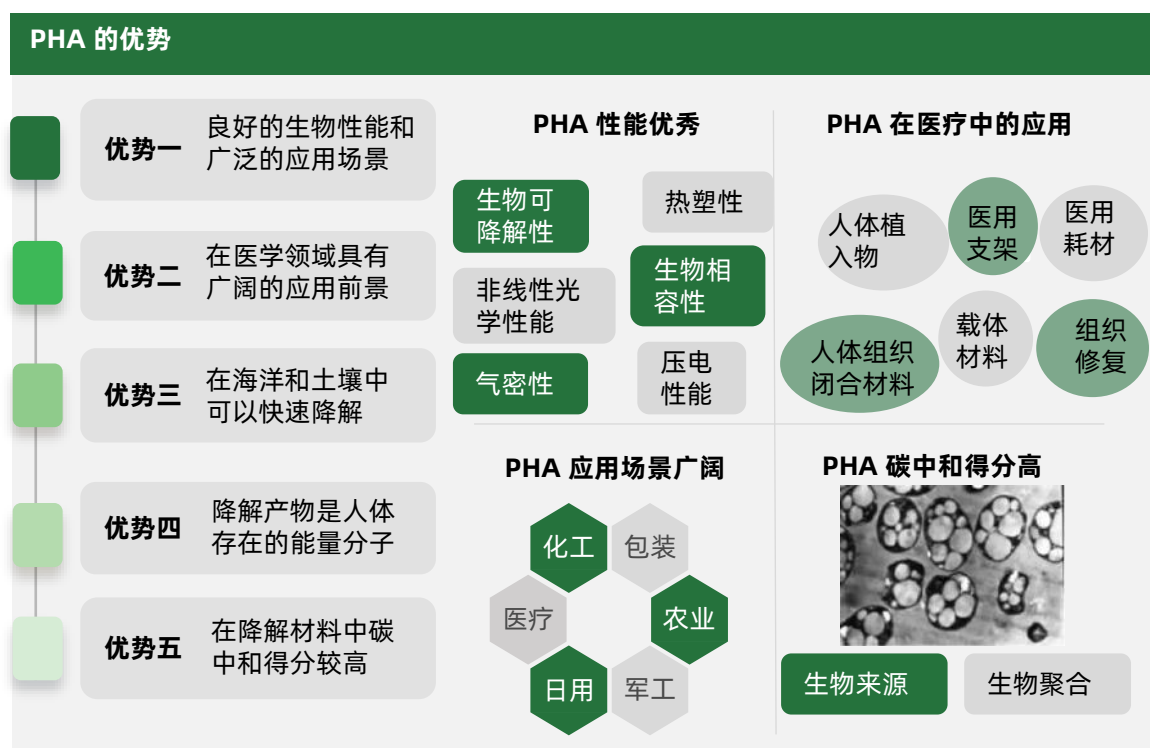


图 19 | PHA 的优势（来源：微构工场、DeepTech）

技术溯源：材料学性质取决于单体组成，合成生物学手段赋能 PHA 生产，两方面共同促进产品商业化进程

1. PHA 研发经过四个发展阶段，其材料学性质主要取决于单体组成

PHA 由 Maurice Lemoigne 于 1926 年首次合成，发展至今已近百年历史。目前，PHA 种类已逾 150 种，不同种类的 PHA 材料学性质主要取决于其单体组成。

1920s

目前已在不同微生物体内发现不同的 PHA 合成相关的酶。革兰氏阴性菌是合成 PHA 的主要微生物。古菌也能在极端环境下利用淀粉、乳清水解物、酒糟和甘油为底物生产 PHA。

1926 年，Maurice Lemoigne 在巨大芽孢杆菌（*Bacillus megaterium*）中发现 PHA 的一种，聚 3-羟基丁酸（PHB），同时 Lemoigne 确定了 PHB 是 3-羟基丁酸（3-hydroxybutyrate, HB）的均聚物。

1980s

1987 年，Leenslag 等采用四苯基锡为催化剂，制备出高分子量的 PHA，其力学性能有了很大改善，作为骨折内固定材料的研究开始显示出广阔的前景。

1990s

20 世纪 90 年代初，中国实现了世界上首次规模化生产第三代 PHA - PHBHHx，为生物可降解塑料工业化研究开辟了广阔的前景。

种类	PHB	PHBV	PHBHHx	P34HB
性能	结构规则、结晶度高、硬度大、性脆、热稳定性差	硬度高、延展性强、弹性强、结晶度低	硬度低、韧性强、延展性强、结晶度可调	更好的加工性能和热稳定性，熔融温度降低、结晶度降低
商业化	第一代产品	第二代产品	第三代产品	第四代产品
应用	医用领域	医用材料、薄膜材料、一次性用品、包装材料	医学、农业、食品、日用消费品	薄膜、纤维、弹性体、可降解制品、改性剂、包装材料、医用植入材料等

表 5 | PHA 四代商业化产品种类及应用方向（DeepTech）

技术溯源：材料学性质取决于单体组成，合成生物学手段赋能 PHA 生产，两方面共同促进产品商业化进程

2.合成生物学技术成 PHA 生产主流手段，两方面共同制约产品商业化进程

PHA 一般合成方法工艺流程包括原料合成过程、化学过程、物理过程等。但传统 PHA 的制备不仅造价高，还存在高耗能、易染菌、过程复杂、产物难提取等缺点。

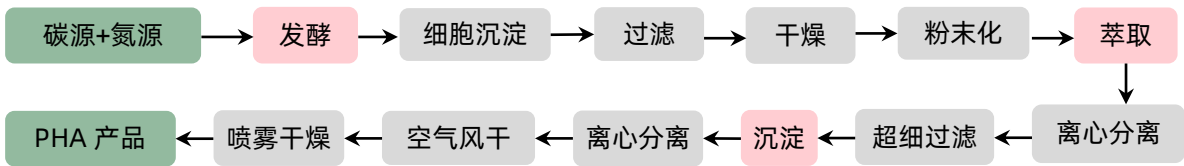


图 20 | PHA 化工合成手段（来源：《当代化工》、DeepTech）

合成生物学方法开发 PHA 产品需要经过三个阶段：改造出好的菌种，通过小规模测试放大工艺，建设工厂稳定生产。通过生物技术合成一种高分子材料，就像是在细胞里编程，设计原本不存在的基因代码、编写基因程序，以此来“造物”。针对 PHA，需要考虑用以合成的三要素：底盘细胞、碳源（原料）、代谢通路。简单理解，要通过基因编辑等手段，令底盘细胞能够生长得更快，且能高效“吃掉”碳源，令细胞中的 PHA “由瘦变胖”，提高碳源转化为 PHA 的效率。

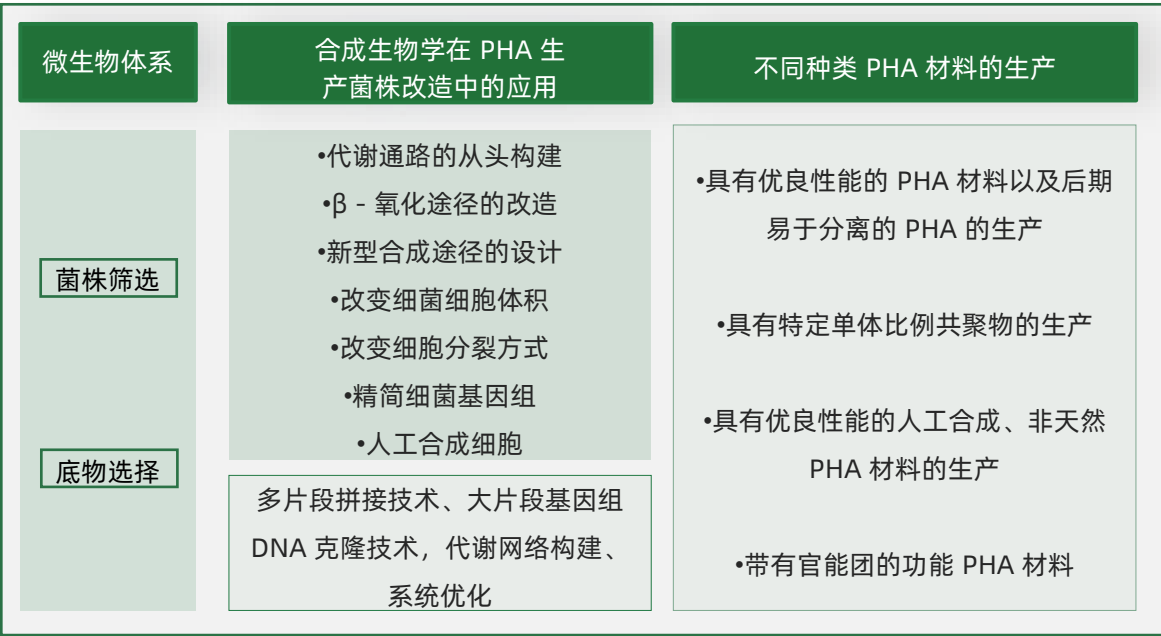


图 21 | 合成生物学在 PHA 生产菌株改造中的应用

（来源：《合成生物学技术在聚羟基脂肪酸酯 PHA 生产中的应用》、DeepTech）

技术溯源：材料学性质取决于单体组成，合成生物学手段赋能 PHA 生产，两方面共同促进产品商业化进程

2.合成生物学技术成 PHA 生产主流手段，两方面共同制约产品商业化进程

对于进行生物法从实验室科研成果到产品商业化落地的过程，重点在于解决实现规模化的生产工艺这一难题，前端菌种改造效率与后端工艺放大效果两方面均起到决定性作用。

• **菌种改造**：效率主要体现在生产产品的转化率、生产速率和产量三个指标。作为合成生物制造的第一步，需要根据目标产品的特性选择一个性状优良的菌种，也称底盘细胞，它是用于该产品生产的宿主。利用合成生物学的方法，对生物体基因组特定目标基因进行改造和修饰，以达到改造微生物代谢途径的目的，能够构建高效的菌种，实现产品生产事半功倍。现阶段合成生物学研发过程中，基因测序、基因编辑和 DNA 合成的成本已经很低。面对复杂的生物设计，关键在于谁能够以更高通量、在尽量短的时间内筛选出合理的基因编辑方案，提高产品的研发速率，降低研发成本。

• **后端工艺放大**：主要体现在高效、低成本、分离纯化三方面。作为生物合成制造产业化的“最后一棒”，产品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达 90%。异于传统化学分离，生物制造法对分离纯化技术存在较高的要求，生物产品分离过程需保证产品的生物活性，常需低温、合适的 pH 和耐受压力。常用的绿色分离纯化技术有膜分离技术、模拟移动床色谱技术和超临界萃取技术，其中膜分离技术是以选择通透性膜为分离介质。

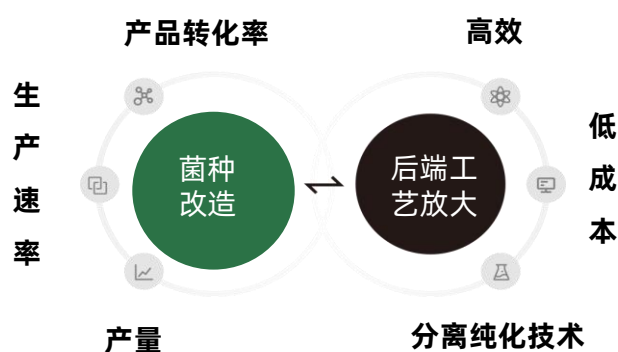


图 22 | 前端菌种改造效率与后端工艺放大效果重点环节（来源：DeepTech）

菌种培育、发酵过程、原料选择、生产工艺等关键环节均有重大突破

目前，PHA 产业相关企业在菌种培育、发酵过程、生产工艺等环节均有重大突破。

蓝晶微生物使用高集成发酵罐提高发酵过程通量、积累过程数据，缩短研发周期。发酵环节限制菌株在设计、构建、测试环节实现高通量自动化的速度，关键在于：通量、数据化的程度。蓝晶微生物使用了当前物理和化学领域最先进的传感器设计开发自动化高集成的发酵罐，预计单个产品的完整研发周期会在现有基础上再缩短 70%。

微构工场重新编辑嗜盐细菌的基因，并成功开发“下一代工业生物技术”。为了克服工业生物技术由于高耗能，耗水，设备投资巨大和工艺复杂等缺点，微构工场用合成生物学技术重新编辑了嗜盐细菌的基因，并成功开发了“下一代工业生物技术”，包括其理论、模型、分子操作、实验室培养技术、中试技术及工业生产技术，也包括部分产品的应用等。对嗜盐菌进行从头改造，使其能在无灭菌和连续工艺过程中、利用海水为介质高效生成各种化学品和材料。以生产环境友好塑料，生物材料聚羟基脂肪酸酯 PHA 为例，该嗜盐菌通过合成生物学的改造，实现了超高 PHA 积累（92%）和可控形变等工作。

北京本农环保科技联合研究中心全球首次利用餐厨垃圾合成生物可降解塑料（PHA）项目中试完成。北京本农环保科技联合研究中心聚焦石油及石化行业有机污染的治理与修复、餐厨等固废有机物的资源化综合利用领域的重大问题和科技需求，发掘自然及人工环境中新的功能降解和转化微生物资源，研发污染场地生物修复技术、复合菌群生物合成前沿技术工艺与成套设备，将理论研究与技术工艺开发相结合。联合研究中心定位准确、发展潜力和创新空间巨大。

产业链路：原料端创新力聚焦绿色生产，应用端在高附加值领域前景广阔

在“碳中和”背景下，新的生产方式有望发展为 PHA 绿色合成的主流路径。在合成生物学范畴，PHA 的整个聚合过程在常温常压下进行，反应安全，条件简单，排碳少，专一性高副产物少，具有可实现碳循环的特点。

然而高昂的制造成本成为合成生物学手段开发 PHA 商业化的最大阻碍，PHA 价格大约在普通聚乙烯和聚丙烯的 3 倍至 10 倍，这也是所有 PHA 企业研发的重点。清华大学教授陈国强分析了 PHA 生物制造的成本结构，底物原料成本占 50%，能耗占 27%，下游生产成本占 23%，足见解决原料成本问题是加速 PHA 商业进程的关键。

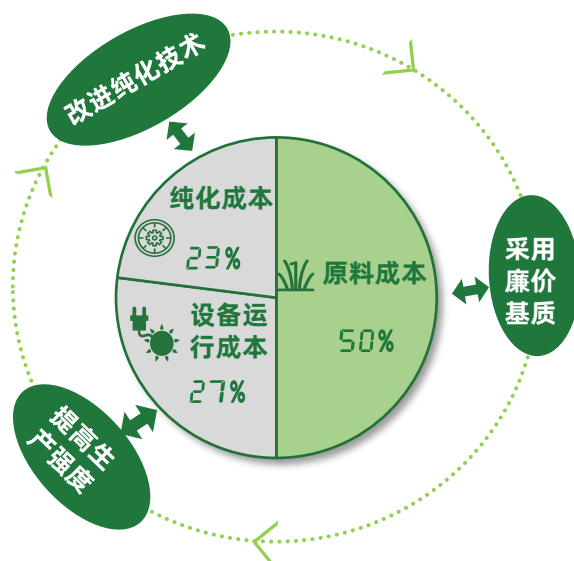


图 23 | 制约 PHA 商业化的重要因素及解决方法（来源：DeepTech）

针对以上问题，可从三方面进行优化调整。1）采用廉价基质、开拓廉价底物途径。开发来源广泛、价格低廉的新底物，如餐厨垃圾处理物、活性污泥处理物、农用秸秆糖等。2）不断提高菌株性能、提高生产强度。利用合成生物学技术优化菌株、代谢路径，提高酶促反应效率、底物转化率、产物产量、菌株生长速度，并降低产物提取难度。3）优化工艺运行效率、改进纯化技术。通过模型推算和实践，建立全流程优化方案，使整个生产过程在最佳条件下运行，达到节能降耗的目的。

产业链路：原料端创新力聚焦绿色生产，应用端在高附加值领域前景广阔

PHA 为在高端医用材料、中端包装材料与低端快递、一次性用品领域有着巨大的应用前景，得益于其优良的热塑加工性、生物相容性和生物可降解性，PHA 在高附加值医疗领域市场前景广阔。

P H A	特性	领域	具体场景
	生物降解性 产物可利用	包装材料	购物袋、一次性餐盒餐具、快递包装等
	水解性 生物降解性	农业	农用地膜、堆肥袋、农药的缓释载体等
	生物相容性 无毒无排斥	医学	缝线、骨科针、支架、伤口敷料等
	生物降解性 生物相容性	工业	尿不湿、化妆品容器、装修材料等

图 24 | PHA 具体应用领域与场景（DeepTech）

纺织纤维领域，将 PLA 与 PHA 进行共混能够显著改善纤维的耐热性、抗菌防螨等特性，可用于抗菌婴童面料、抗菌牛仔面料、抗菌无纺布等产品的生产。

包装材料领域，因为 PHA 有良好的复合性，PHA 可以与其他材料复合使用，如与纸张复合制造具有特殊性能的包装纸、与铁铝锡等金属材料复合、与粉煤灰复合进而改善 PHA 的热性能和韧性。可以用于婴儿使用的一次性尿布，或者一些液体的防漏包装、包装金属的收缩性薄膜。

医用材料领域，PHA 是存在于微生物细胞内的天然聚酯，与人体具有良好的相容性，在医疗领域的优势是其无需通过二次手术取出。例如 PHB 可完全降解成属于人体血液中正常成分的 3HB，不会引起排斥或产生毒性。2007 年，以 P4HB 为原料的可吸收缝合线（TephaFLEX®）获美国 FDA 批准上市，成为首个商品化的 PHA 医疗产品。

商业现状：市场需求水涨船高，PHA 迎来发展黄金时代

产能情况方面，中国对 PHA 的研究虽然起步较晚，但目前是世界上生产 PHA 品种最多、产量最大的国家。中国已走在 PHA 产业化前列，规划产能超过 10 万吨。

天津国韵生物科技有限公司现有年产 1 万吨的 PHA 生产线，并计划在吉林建设 10 万吨规模的生产线；宁波天安生物材料有限公司拥有年产 2000 吨的 PHA 生产线；绿塑科技也已建成万吨级 PHA 生产基地。蓝晶微生物新一轮融资开始建设 PHA 量产基地，总产能规划为 10 万吨，分三期建成，其中 5000 吨的一期生产线将在 2022 年内建成投产。微构工场也于 2021 年 6 月完成 200 吨的 PHA 装置投产，并且在 7 月利用得到的 PHA 成功制成纤维纺，在生物合成塑料道路上迈出了重要的一步。

企业	PHA类型	规划产能（吨/年）	现有产能（吨/年）
天津国韵生物	P34HB	100000	10000
北京蓝晶微生物	PHBHHx	25000	1000
北京微构工场	全类型	10000 - 25000	1000
珠海麦得发	P3HB4HB	11000	100
深圳意可曼	P3HB4HB	10000	5000
北京绿塑科技	P3HB4HB	10000	/
宁波天安生物	PHBV	2000	/
广东荷风生物	/	1000	/
中粮生化	PHB	1000	/
北京本农环保	PHB	未知	/
丰原生化	/	未知	/

表 6 | 中国主要公司 PHA 产能情况及规划产能（来源：公司公告、各地十四五规划、DeepTech）

商业现状与行业图景：市场需求水涨船高，PHA 迎来发展黄金时代

市场前景与未来趋势方面，得益于 PHA 在材料性能、生物可降解性、减碳上的卓越表现，市场对 PHA 需求增长迅速。另据 European bioplastic conference 数据，2020 年 PHA 在全球生物塑料产能中占比不超过 2%，而到 2025 年 PHA 生物塑料占比将上涨至 11.5%，与 PBAT、PLA 的使用量相接近。据估计，未来 20 年 PHA 的全球需求量将达 1000 万吨，随之诞生的是约 3000 亿元规模的市场，未来 5 年占比将由 2% 提高至 11.5%。

当前 PHA 和相关技术正在形成一个从发酵、材料、能源到医学领域的工业价值链。未来，随着成本的进一步降低以及高附加值应用的开发，PHA 将成为一种成本可被市场接受的多应用领域生物材料，成为可降解材料未来的主要发展方向之一。

相对于其他绿色材料，PHA 的降价空间和性能可调都为最大。当前 PHA 在市场上处于供不应求的状态，价格约是传统石油塑料的 8 倍左右；大规模生产后，售价可能与 PLA 持平。随着市场参与者增多，PHA 作为大宗商品的价格大概率会降低。可以预见，随着大量资本的入局，PHA 产能将进一步提升，原料价格方面后顾之忧有望解决。中长期来看，降低 PHA 生产的复杂程度和制造成本将助力 PHA 产业迎来发展的黄金时代。

随着技术发展变革与商业化场景逐渐推进，涌现了一批饱含创新能力并有实力实现商业化落地的企业。其中，他们或是在原有业务中拓展新技术手段和生产新的技术产品，或是利用新一代绿色制造技术延续既有业务板块、以满足市场需求。

中国 PHA 代表企业图景



图 25 | PHA 部分典型企业（来源：DeepTech）



Chapter 4 乘风

技术创新力增强反哺产业，生物手段赋能 传统制造将改变供应格局

- 生态展望一：可降解材料能否撑起千亿赛道？多领域应用场景分化，新范式带来新机会与新考验
- 生态展望二：大浪淘沙，政策红利消失后经过市场验证的可降解塑料是最佳替代方案
- 生态展望三：人才端从攻关卡脖子问题发力，生物技术赋能传统制造有望改变供应格局
- 生态展望四：生物基可降解材料是具有战略意义和高市场价值的新兴前沿科技，预计在未来 5 - 10 年技术成熟

生态展望一：可降解材料能否撑起千亿赛道？多领域应用场景分化，新范式带来新机会与新考验

在可降解材料领域应用量级最大的产品之一就是可降解塑料。中国已成全球塑料产量第一大国，2021 年中国塑料产量约 0.8 亿吨，近八年 CAGR 为 9%，作为替代传统塑料的最佳选择，可降解塑料市场潜力无限。



图 26 | 中国塑料材料产量及同比增速（来源：wind、DeepTech）

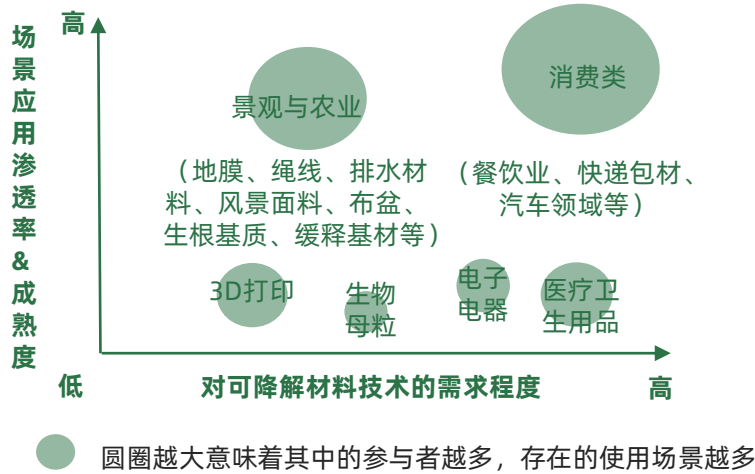
经济的底层核心就是人口数量及质量。中国坐拥 14 亿人口（2021 年末全国人口 141260 万人），庞大的人口基数铺垫了生物基可降解材料在消费领域的广阔使用场景。而人口质量是影响经济社会发展的关键因素，随着全国人口素质全面提高，人口红利将转变为人才红利，由此催生的中产阶级用户对环保主义消费有强烈需求。

环保理念一度被视为消费主义的新瓶装旧酒，但在环境肉眼可见的威胁之下，试图过上更好生活的中产们也的确愿意为环保、可持续概念买单——可降解材料就是典型的代表。不论是高科技材质带来的舒适感，还是低碳排放的环保理念，中产阶级青睐的消费品牌背后代表新时代消费概念与身份认同，同样也在中国市场生根发芽，并逐渐成为如今新消费的中流砥柱。

在新的消费场景、人群、理念等多方作用合力下，可降解材料产业或许可以迎来千亿元赛道。

生态展望一：可降解材料能否撑起千亿赛道？多领域应用场景分化，新范式带来新机会与新考验

可降解材料能否撑起千亿赛道？应用场景细分给了我们答案。随着下游场景逐渐分化，生物基可降解塑料由工业领域、农业领域拓展至大消费领域，同时新范式也将带来新机会与新考验。



消费领域	
机遇 - 餐饮业：可降解材料在餐饮业的应用包括一次性餐具、外卖包装袋、外卖包装盒等。众多餐饮企业已开始使用可降解一次性塑料管、塑料餐具；同时，外卖行业的发展驱动一次性餐具、外卖包装使用量高速增长。 - 快递包材：塑料薄膜因其良好的密封性、防水性和强度，作为包装行业的重要材料，是可降解塑料推广的重要板块。2021 年中国快递业务量首次突破 1000 亿件，高速增长推动了可降解塑料的应用进程。	汽车领域：可降解材料可用于汽车制造和运输过程中使用的地毯、地垫、室内装潢和保护性包装等内饰部件。PLA 复合材料在汽车进气格栅、三角窗框等零部件中得到应用；据 PHA 生产商 Kaneka 预测，未来两年将有 30% 的 PHA 应用于汽车领域。
挑战	在消费领域，成本是最大的挑战。以吸管为例，传统塑料吸管成本为每根 5、6 分，而 PLA 吸管成本为每根 1 毛 2 至 1 毛 3。用聚乳酸可降解吸管替换传统塑料吸管，商家在吸管部分将付出双倍成本。

生态展望一：可降解材料能否撑起千亿赛道？多领域应用场景分化，新范式带来新机会与新考验

典型应用场景有哪些？头部品牌对 PLA 吸管的需求有多少？

PLA 吸管最典型的应用场景是现制饮品赛道——聚焦最具代表性的茶饮、咖啡细分赛道，以头部品牌为例。

•星巴克 2021 财年在中国的营业收入约为 36.7 亿美元，在店咖啡消费业务约占营业收入的 70%，可估算出星巴克（中国）在店咖啡销售额为 171 亿元，星巴克的客单价在 30-40 元每杯，以平均每杯 35 元的单价折算，一年能卖出约 4.7 亿杯咖啡。

•奈雪的茶 2021 年收入近 43 亿元，现制茶饮产品营收占比为 74.2%，以每杯售价 20 元折算，一年能卖出约 1.6 亿杯茶饮。

•喜茶 2021 年门店总数量为 865 家，以单店日均销量 2000 杯折算，一年能卖出约 6.3 亿杯茶饮。

•瑞幸咖啡 2021 年总净收入达 79.65 亿元，按饮品贡献比例 80% 测算，瑞幸客单价在 15-25 元每杯，以平均每杯 20 元的单价折算，一年能卖出 3.2 亿杯饮品。

这些仅仅是餐饮市场可降解吸管需求的冰山一隅。若以十倍量级、每根 PLA 单价按 0.3 元折算，则（理想情况下）为上述餐饮企业提供可降解吸管产品的最大供应市场规模可达 47.4 亿元。从长远来看，随着监管的推进、环保消费意识的增强，以及技术迭代带来的可降解吸管成本下降，以可降解吸管为代表的可降解材料制品在未来仍有长足发展空间。

品牌	2021年总销量（亿杯）	吸管数量（亿根） *理想情况下	吸管数量*10 *预估最大采购量	按每根吸管单价 0.3 元核算
喜茶	6.3	6.3	63	18.9
奈雪的茶	1.6	1.6	16	4.8
瑞幸	3.2	3.2	32	9.6
星巴克（中国）	4.7	4.7	47	14.1
合计	15.8	15.8	158	47.4

表 7 | （理想情况下）为上述餐饮企业提供可降解吸管产品的最大供应市场规模

（数据来源：企业财报、DeepTech）*仅做市场规模示意，仅供参考，不构成任何投资建议

生态展望一：可降解材料能否撑起千亿赛道？多领域应用场景分化，新范式带来新机会与新考验

农业领域

机遇

中国庞大的农村下沉市场以及政策导向使得可降解材料在农业领域有着广泛的应用。中国适宜地膜覆盖的土地面积超 9 亿亩，地膜实际覆盖面积 3 亿亩，在 30%左右，巨大耕地面积为可降解农膜提供了市场空间。农业农村部《2022 年地膜科学使用回收试点技术指导意见》针对重点用膜地区春耕生产特点，聚焦玉米、马铃薯等主要粮食作物，将向各地推广加厚高强度地膜 5000 万亩、全生物降解地膜 500 万亩。

挑战

目前中国可降解农膜处于试验改进技术阶段，渗透率较低，主要劣势在于其性能问题和性价比比较低，可降解农膜当前的技术水平无法满足全国各地不同的自然条件，在各地应用的效果差异较大，从部分地区推广到全国推广尚需一段时间。

医疗领域

机遇

近年许多生物医用材料相关产品兴起，主要应用场景包括缝合线等医用耗材，以及药物控释体系等。受国家政策推动，加上疫情影响，检测盒、试剂盒等一次性医药制品的使用迅速增加，2019-2022 年市场规模迅速增加。短期内一次性医药制品增长潜能较大，从长期来看，植入式矫形器械当前虽增长缓慢，但已逐渐突破技术壁垒进入临床阶段，未来在量产后规模有望大幅提升。

挑战

在医疗领域的应用其中一个重要的壁垒是 FDA 审批情况，如作为人体骨科固定材料的 PHA 由于至今未被 FDA 批准而无法落地。

生态展望二：大浪淘沙，政策红利消失后经过市场验证的可降解塑料是最佳替代方案

生物基可降解材料领域的发展逻辑总体来说短期看政策，长期看成本。政策导向是当前中国生物基可降解材料发展的主要驱动力，工艺和技术突破带来的成本降低将成为可降解塑料替代传统塑料的内在驱动力。

目前行业正处于政策导入期，政府补贴给予企业降价空间推动产品价格下降，从而使可降解产业整体需求释放，需求放量使企业进一步壮大又增强了研发投入与力度，进而推动技术进步，进而反哺产业，使得价格继续下降，形成良性驱动的生态闭环。

因此可降解塑料价格下降长期看依靠技术进步。通过改进生产的工艺流程或者原材料选择降低生产成本，从而实现可降解塑料价格下降是最根本的方法。

从行业竞争格局来看，部分产能、技术相对落后的中小型企业或因无法满足相关政策要求、技术指标而被市场淘汰。低附加值产品将逐渐被高质量、可生物降解的高附加值产品取代。

从运营模式来看，拥有丰富行业经验、高度自动化生产工艺、领先技术水平和优质客户群体的头部企业将进一步挤占“作坊式”中小型企业市场空间，巩固和提高其优势地位并从不断增长的市场中获利，持续保有较广阔的利润空间。

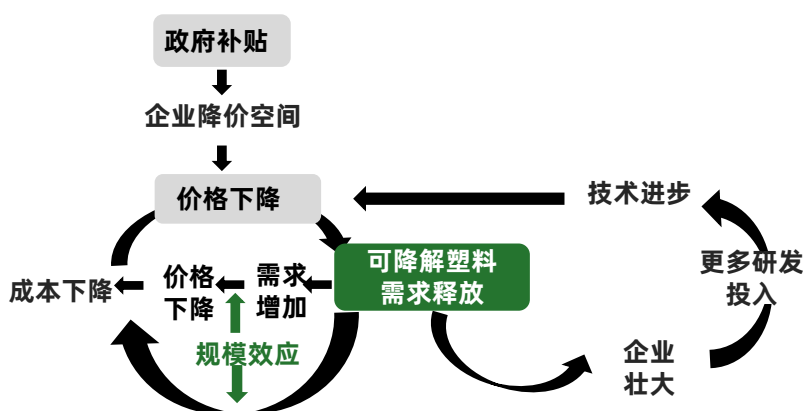


图 28 | 政府补贴释放可降解塑料需求的机制（来源：DeepTech）

生态展望三：人才端从攻关卡脖子问题发力，生物技术赋能传统制造有望改变供应格局

PLA 制造技术创新方面将从攻关传统卡脖子问题发力。

一是持续精简乳酸单体发酵生产培养基。

优化发酵生产培养基，采用精确化的化学限定性培养基并辅以现代流加工艺。

二是创建高效且智能化的发酵生产体系。

以高效新菌种选育为基础，实现发酵过程中的菌体生长繁殖与乳酸单体合成自动脱耦合、单体生产发酵强度和水平的显著提升；研制新型发酵装置，嫁接人工智能技术，实现发酵生产全过程实时自动监测、自动控制、自主学习及优化。

三是创建下游工程新技术与新装备。研究并创建循环实施的双向反应精馏耦合（酯化 - 蒸馏 - 水解）技术，可实现聚合级乳酸单体的高效制备。

同时开拓生物合成方法。目前生物法制备 PLA 已有成功案例，上海交通大学生命科学技术学院食品与环境生物技术团队（FEMlab）使用合成生物学技术开发了新一代可降解塑料 PLA 的“负碳”生产技术。



持续精简的聚乳酸
单体培养基



高效智能化发酵
生产体系



下游工程新技术
与新装备

图 29 | 聚乳酸技术创新要点（DeepTech）

PHA 制造技术主要集中于合成生物学领域的技术创新。麦肯锡国际研究院报告称未来 60% 的工业品可通过生物技术制造。此外，合成生物制造过程兼具绿色环保与降本增效，符合“碳中和”的要求，据世界自然基金会（WWF）预估，到 2030 年工业生物技术每年将可降低 10 亿至 25 亿吨二氧化碳排放。

合成生物学已逐步进入从理论科研到产业落地转化的时点，优质高效、清洁环保、集成可控使得合成生物学在越来越多的细分领域替代传统生产模式，有望极大地提高相关产品的生产效率、改变供应格局。

生态展望四：生物基可降解材料是具有战略意义和高市场价值的新兴前沿科技，预计在未来 5 - 10 年技术成熟

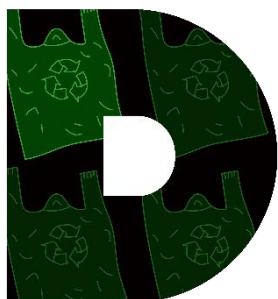
TRL（技术准备水平，Technology Readiness Level）是衡量生物基项目技术成熟度的重要指标，根据欧盟地平线计划，TRL 等级被分为 1 - 9 级，分别对应小试验证阶段（1 - 3 级），小试放大阶段（4 - 5 级），中试阶段（示范阶段，6 - 7 级）以及商业化阶段（8 - 9 级）。JRC 研究表明，在支持性的政策环境下，一般生物基化学品从 TRL5 到 TRL8 可能需要 10 年左右的时间。

具体到 PLA、PHA 两类生物基可降解材料，合成 PLA 的原料乳酸目前位于 TRL8 - 9 等级，商业化路径已较为明朗，但由于丙交酯聚合度低的瓶颈目前尚未完全解决，所以 PLA 商业化程度还有上升空间，目前 PLA 降解塑料处于产业爆发的初期；而 PHAs 目前处在 TRL6 - 7 等级，产业处于由快速发展转向商业化成熟的阶段，此阶段技术创新层出不穷。

生物基可降解材料是具有战略意义的高市场价值的新兴前沿科技，综合 TRL 等级水平与市场现状，预计在未来 5 - 10 年技术成熟。

TRL	1-3	4	5	6	7	8	9
	研究		试验		快速发展		商业化
生物酶法			丙烯酸		丁二酸		乳酸
胞内培养法					PHAs		

图 30 | TRL 水平情况（欧盟地平线计划、DeepTech）



生物基可降解材料相关技术研究由来已久，上溯至上世纪六十年代美国杜邦公司开始用间接的方法制备聚乳酸，历经漫长研究发展至今逐步产业化落地实践。随着禁塑令力度的加强和中国实现碳达峰、碳中和目标的公布，行业致力于寻找可完美替代塑料的原料，于是若干天然高分子材料，从被冷落一直默默无闻到逐渐走入公众视野。

而在降解材料领域，生物制造技术无疑发挥了历史性的推动作用。合成生物学，被中国“十四五”规划列为科技前沿攻关方向、被美国国防部誉为未来“重点关注的六大颠覆新基础研究领域”。从实验室到生产，一代又一代学术界人士与产业界人士在纳米尺度的世界不断积累，突破重重阻碍与瓶颈，发挥想象力格物致知，精研求索探索产业链，直至实现商业化，改变人们的生活。

生物降解塑料作为“十三五”期间塑料行业发展的重点得到快速发展，且产能还在持续扩大。“十四五”期间，生物降解塑料还将得到更好的发展，以可循环、易回收、可降解为导向，研发推广性能达标、绿色环保、经济适用的塑料制品及替代产品，打造有利于规范回收和循环利用、减少塑料污染的新业态模式，是中国进一步加强塑料污染治理的基本原则，更是生物降解塑料发展的方向。

About Us

DeepTech 成立于 2016 年，是一家专注新兴科技的资源赋能与服务机构，以科学、技术、人才为核心，聚焦全球新兴科技要素的自由链接，为产业、政府、高校、科研院所、资本等科技生态的关键角色提供服务，通过科技数据与咨询、出版与影响力、科创资本实验室三大业务板块，推动科学与技术的创新进程。

About the Report

在碳中和背景下，生物基可降解材料由于其可降解无毒害的特性，被作为替代石油基材料的有益选择，且生物基可降解材料从长远来看能从根本上解决环境危机和能源危机等困境，因此受到广泛关注。在中国，生物基可降解材料技术已有一定发展基础，创新力也在日益增强。基于此，本报告从生物基可降解材料各环节技术发展现状出发，洞悉推动生物基可降解材料产业发展的生态力量，厘清积极推进技术产业化的中坚力量，最终研判未来技术面临的风险与机遇。

生物基可降解材料技术研究开发与推广应用中离不开多方力量。我们希望这份报告得到政府、学者、媒体、产业及各方关心环保事业的人士关注，进而推动生物基可降解材料产业发展，为推动全球环保进程贡献一份力量。

Please use the following to reference the report

《因势利导，白色治理驶向创新快车道——2022 年中国生物基可降解材料技术与行业研究报告》，2022. DeepTech 2022 Insights. China.

©DeepTech 2022

Design by DeepTech

Disclaimer

本报告由 DeepTech 发布，其版权归属北京演绎科技有限公司（DeepTech），DeepTech 对此报告拥有唯一著作权和解释权。没有经过 DeepTech 的书面许可，任何组织和个人不得以任何形式复制、传播等。任何未经授权使用本报告的相关商业行为，DeepTech 将依据中华人民共和国相关法律、法规追究其法律责任。

本报告所载数据和观点仅反映 DeepTech 于发出此报告日期当日的判断。DeepTech 对报告所载信息的准确性、完整性或可靠性做尽最大努力的追求，但不作任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述均不构成任何投资等建议，本公司对该报告的数据和观点不承担法律责任。不同时期，DeepTech 可能会发布其它与本报告所载资料、结论不一致的报告。同时 DeepTech 对本报告所载信息，可在不发出通知的情形下做出修改，读者应自行关注。

Find Out More

<https://www.deeptechchina.com/>

Contact Us

research@deeptechchina.com

Head Office

中国北京市朝阳区建国路甲92号

Shimao Tower, No. 92 Jia Jianguo Road, Chaoyang District,

Beijing 100022, China

DEEPTCH

45

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（18610100296）同步分享更新

DEEPTECH

SCIENCE

×

TECHNOLOGY

×

TALENTS



相信科学的力量

IN SCIENCE WE TRUST



找报告, 上“数据猩河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群 (18610100296) 同步分享更新