

# 生物基材料进入产业化加速期

阅读提示

应对全球环境挑战、资源挑战与气候挑战,一个重要解决方案就是发展生物基材料,即以可再生生物质资源(玉米、秸秆、微生物等)为原料,通过生物或化学转化获得聚合单体,再经聚合反应合成的高分子材料。

发展生物基材料的关键优势是现有聚合装备适用性强,无须大规模改造,可显著降低产业化门槛;从源头替代石油基原料,实现全生命周期的显著碳减排,如每生产1吨生物基橡胶,减少二氧化碳排放约1.4吨;利用可再生生物质资源构建自主可控、可持续的原料体系,可摆脱对化石资源依赖,增强产业链韧性与资源安全;催生高性能生物基新材料与新技术,驱动传统材料行业绿色低碳转型,重塑产业竞争格局。

生物基不等于可降解,有的生物基材料不可降解,有的石油基材料可降解。发展生物基材料的核心在于用可再生、可循环的生物基单体,逐步替代传统石化基单体,这是解决环境问题的技术手段,更是关乎国家能源安全的战略选择。

□中国石化咨询中心专家 张福琴

## 三大生物基材料产业和技术现状

- 生物基合成树脂,全球格局分明,我国快速追赶,生物基新型聚酯PEF凭借优异性能成为未来热点。
- 生物基合成橡胶,已实现万吨级产业化突破,非粮路线与绿色认证是关键。
- 生物基合成纤维,我国产能全球领先,多品种并行,拓宽高端应用场景。

生物基合成树脂方面,第一梯队是美国,在PLA(聚乳酸)领域主导全球,NatureWorks公司为标杆,在产能与专利上壁垒极高;第二梯队是欧洲,在生物基PA(聚酰胺)、PC(聚碳酸酯)和PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)领域优势显著,侧重高性能与绿色工艺结合;第三梯队是以我国为代表的新兴经济体,产业规模发展迅猛,通过技术引进与自主研发,在PLA及生物基聚酯部分细分领域已具备国际市场竞争能力。

在生物基合成树脂中,可生物降解的品种有PLA、PHA(聚羟基脂肪酸酯)、PBS(聚丁二酸丁二醇酯)等,用于食品包装、餐具、快递袋等领域;不可生物降解的品种有生物基PET、PA、PE(聚乙烯)等,用于纺织、汽车内饰、电子等领域。其中,PEF(聚呋喃二甲酸乙二醇酯)是一种生物基新型聚酯,凭借其优异的气体阻隔性能(对二氧化碳和氧气的阻隔性远超过传统PET),被视为极具潜力的下一代食品饮料包装明星材料。

我国生物基合成树脂2024年总产量超过300万吨,市场总规模310亿元,比2014年增长逾两倍。原料方面,实现非粮化转型,以秸秆、木质纤维素为原料的第二代技术突破成瓶颈,规避“与人争粮”。工艺方面,微生物发酵生产丙二醇、丁二酸等工艺成熟,奠定了规模化生产基础。挑战方面,一是核心菌种自主率有待提升,二是成本仍然较高。

生物基合成橡胶方面,2024年11月,京博中聚1万吨/年非粮生物基康康橡胶生产产线获批建设,标志着非粮生物基橡胶产品进入万吨级产业化阶段,验证了非粮原料路线的技术可行性,提升了我国生物基弹性体领域的国际竞争力。该技术以低成本农业废弃物玉米芯为原料,利用微生物发酵技术合成,全程绿色低碳,无有害副产物。产品生物基含量在20%~100%,每吨产品与传统石油基合成橡胶相比可减少二氧化碳排放约1.4吨。该项目已获全产业链ISCC PLUS(国际可持续发展与认证体系下的一项自愿性认证计划)认证,打通了全球高端供应链绿色通道,符合欧盟环保要求。

传化合成材料是国内首家生物基顺丁橡胶生产企业,已通过ISCC PLUS认证,2025年顺丁橡胶单位碳强度较2024年降低10%以上。

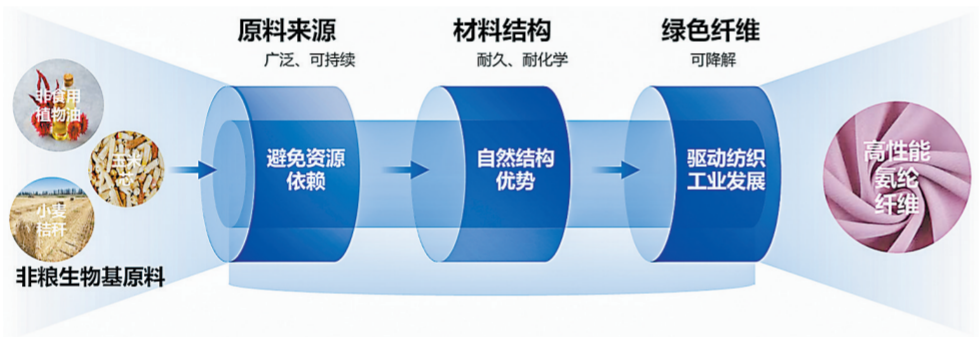
目前,我国生物基合成橡胶已在高端鞋材、防护手套及轮胎制造等领域替代传统石化橡胶。行业聚焦绿色高性能轮胎的生物基橡胶应用开展攻关,开辟了天然橡胶替代新路径,在蒲公英橡胶研发上世界领先,为企业提供了多元的原料选择。

生物基合成纤维方面,作为全球最大化纤生产国,我国2025年化纤产量7793万吨,生物基合成纤维拥有巨大替代空间。我国2025年生物基合成纤维产量突破90万吨,高于美国的22万吨和欧洲的16万吨,全球领先地位确立。已商业化和近商业化的生物基合成纤维品种超20种,其中,PLA纤维全球年产量约28万吨,生物基PET纤维全球年产量约17万吨、生物基聚酰胺纤维(PA56)全球年产量约8万吨。包装领域是生物基纤维最大的应用市场,其次为纺织领域,高端制造业领域正快速拓展应用场景。

生物基合成纤维的技术核心是生物基单体对石化单体的替代,如生物基PET就是使用生物基乙二醇替代传统石油基乙二醇,实现原料绿色转型。其优势是现有工厂无须大规模改造,设备直接适配,减少切换成本,且依托成熟设备可降低初期投入,加速产业化落地。



侯燕明 AI 制图



## 生物基材料的政策与标准体系

- 欧美日等发达经济体凭借前瞻性战略规划与完善的政策激励机制,持续引领全球生物基材料产业发展方向。
- 我国已将生物基材料纳入国家战略性新兴产业,密集出台扶持政策,推动产业规模化高质量发展。
- ISCC PLUS等国际认证是产品进入欧美市场的关键,统一互认体系是打破全球贸易壁垒的前提。

欧盟在《欧洲循环经济中的塑料战略》中明确,到2030年塑料包装都要可回收或复用。《一次性塑料制品指令》则立法限制品类,加速替代品转型。2026年,欧盟碳边境调节机制(CBAM)扩展至化工品,高碳足迹产品将被征额外关税,抬高准入门槛。

美国2022年推出国家生物技术与生物制造计划,联邦政府投入20亿美元,重点支持生物基材料、生物质能源等前沿领域研发创新与商业化转化。美国农业部主导的生物基优先计划,强制联邦优先采购生物基产品,创造稳定、巨大的初始市场需求。美国推行的ASTM D6866碳-14检测标准,为产品市场准入提供了科学统一依据。

日本依托在生物降解塑料研发与生产制造领域长期积累的深厚技术壁垒与市场基

础,确立并保持在生物基材料领域的领先地位。通过发布并落实“生物基材料战略路线图”,明确产业发展的技术路径与阶段目标,引导上下游产业链协同。

我国已将生物基材料纳入国家战略性新兴产业,密集出台扶持政策,推动产业规模化高质量发展。国家“十五五”规划将生物基材料明确列为高端新材料重点突破领域,与量子科技、脑机接口等并列未来产业增长点。

在全球生物基材料标准中,欧盟关注全生命周期环境影响与碳足迹,美国侧重生物基含量与技术合规,我国兼顾原料与产业链自主安全。ISCC PLUS认证是生物基材料进入全球供应链的必要条件。国内龙头企业,如京博中聚、传化合成等已率先通过认证,具备国际市场准入资格。

## 生物基材料发展趋势

- 原料趋势:非粮化是必然趋势,二氧化碳利用是原料供给终极方向。
- 技术重塑:合成生物学与AI深度融合,重塑生物制造研发与生产。
- 产品升级:生物基材料从“替代品”向“优势材料”演进。

趋势一是原料体系变革,从“与人争粮”到“变废为宝”。我国生物基材料已摆脱粮食基依赖,转向第二、三代非粮生物基原料路径。第二代原料是农林废弃物,包括秸秆、玉米芯、林业剩余物、高能草本等。第三代原料用于未来生物制造,如微藻、合成气、工业废气等。

未来方向是以工业或大气中的二氧化碳为碳源,耦合绿氢构建全新生物合成路线,从“生物质碳”到“大气碳”,摆脱资源限制,构建“碳循环经济”,终极目标是实现“大气碳”循环。

趋势二是技术路径创新,合成生物学赋能。从传统经验主义向合成生物学驱动的理性设计范式转变,重塑生物制造底层逻辑。通过基因编辑改造微生物底盘,通过代谢重编程优化转化路径,通过酶进化提升催化效率,打破自然限制,实现从生物原料向高附加值化工单体的精准定向转化。

人工智能(AI)与生物技术(BT)融合,将重塑研发范式。利用算法精准预测酶催化效率,快速优化代谢通路,将传统菌种选代的漫长周期大幅缩短。结合先进过程分析技术(PAT)与AI闭环控制,实时监测并动态调节

发酵参数,提升生产效率。未来,生物制造将缩短“研-产”转化周期,显著降低研发成本与试错风险;通过建立数据驱动的理性设计体系,支撑产品实现“按需设计、一次成功”的目标,实现“设计即所得”。

趋势三是产品性能跃迁,从“替代”到“超越”的发展路径,即从能用到好用再到超越。路径一是纳米复合,引入纳米材料构筑微纳结构,提升强度与耐冲击性。路径二是共聚改性,单体共聚打破链规整性,消除脆性大、塑性差痛点。路径三是立构复合,利用sc-PLA(立构复合聚乳酸)技术形成特殊晶型,显著提升热变形温度。通过上述路径,补齐生物基材料耐热性、强度等短板,实现对传统材料性能的全面超越。

开发“性能优势型”生物基材料的核心理念是性能超越,要跳出“生物基=可降解”认知,利用生物质独特分子结构,开发阻隔性、耐热性等显著优于石油基材料的新产品,实现性能“降维打击”。如PEF材料对二氧化碳和氧气的阻隔性较PET提升数倍甚至十余倍,可显著延长保质期,有望在高端包装领域全面替代PET,具有颠覆性。

## 未来技术展望与行动建议

- 生物基三大合成材料已进入产业化加速期,正深刻重塑全球材料产业的竞争格局。
- 非粮原料、合成生物学技术创新与全产业链绿色认证体系,将成为推动产业持续升级的核心驱动力。
- 我国亟需在关键核心技术攻关与国际标准体系建设两个关键层面赢得战略主动权。

展望一是聚合单体生物制造技术突破。生物基单体高效合成是规模化低成本发展的关键。首先要拓展碳源利用,突破原料限制,构建高效共发酵混合糖的工程菌株,提升原料利用率。其次要优化代谢路径,攻关复杂单体合成技术,利用合成生物学手段提升合成效率与选择性。最后要创新发酵工艺,发展连续发酵与AI控制,实现过程精准化,降低生产成本。建议企业布局气态发酵技术,开辟非粮新路径。

展望二是聚合与加工工艺创新。聚合工艺方面,要针对生物基单体特性,研发高效、高选择性聚合催化剂,提升效率与质量;探索二氧化碳与生物基环氧单体共聚工艺,实现低成本、低能耗聚合过程。加工工艺方面,要针对生物基材料热敏感性、结晶性等特性,对纺丝、注塑等工艺定制化优化。新兴方向是与增材制造结合,融合3D打印技术,发挥材料可降解与成型个性化优势,开拓高端新场景。

展望三是循环利用与全生命周期管理。生物基材料要么可生物降解,要么可化学回收,通过解聚实现“分子循环”,如PLA水解。全生命周期评价要考量从原料到废弃的完整链条环境影响,避免环境负担转移。行业终极愿景是从“线性低碳”走向“循环零碳”。

展望四是市场竞争格局演变。随着行业从导入期迈向成长期,市场竞争正从早期的“细分市场龙头”主导模式向综合化工巨头全面入场转变,行业竞争门槛大幅提升。全球领先的综合化工企业凭借雄厚的资金与技术储备,已成为市场的关键参与者,如巴斯夫、科思创、沙特基础工业、LG化学、三菱化学、万华化学等。竞争焦点也已升级,从技术验证期迈入综合较量期,即以“工艺路线打通”为核心的单一技术指标比拼转向多维竞争,成本控制、规模化制造、供应链韧性成为制胜关键。

我国发展生物基材料有三大优势:一是市场规模领先,我们作为全球最大的化工材料生产国和消费市场,拥有海量市场基数优势;二是产业链配套完善,具备全流程、上下游高度协同的产业集群,供应链韧性强;三是应用场景多元化,从日常生活到高端制造,丰富多元的需求场景为技术迭代提供沃土。

未来3-5年是我国发展生物基材料的战略窗口期,有望从“跟跑者”向“并行者”乃至“领跑者”跃升,建议布局多元化原料供给,构建自主可控的非粮保障体系,夯实产业基石;攻关前沿“使能技术”,加大研发投入,以技术突破驱动产业升级;参与国际标准制定,推动认证互认,打破壁垒,拓展国际市场。

## 欧盟发布强制生物基政策

2026年5月,欧盟发布《塑料包装生物基原料分析》报告,明确提出生物基材料将从“鼓励使用”转向“强制配额”,并给出中长期占比目标:到2040年,食品接触级PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)包装生物基占比24%,其他食品包装生物基占比44%,一次性包装生物基占比20%;到2050年,生物基塑料在包装领域占比将在10%-30%。这份支撑欧盟《包装及包装废弃物法规(PPWR)》的关键文件,标志着生物基材料正式从“环保选项”升级为“法定刚需”。

欧盟PPWR法规已于2025年2月正式生效,2026年8月将全面实施,明确要求2028年前出台生物基材料强制配额与统一可持續标准。此次披露的具体目标数值,彻底终结行业对政策力度的观望,以远超当前全球1%的生物基塑料占比,构建起刚性增长空间。从技术与环保层面,报告进一步夯实政策根基:PLA(聚乳酸)、PHA(聚羟基脂肪酸酯)、生物PE(聚乙烯)/PET等主流生物基材料无根本性应用障碍,可适配现有加工体系;相比化石塑料减排30%-70%温室气体,部分产品实现净负碳,完全契合欧盟碳中和路径。同时,报告明确生物基与再生材料等效互补,二者共同支撑碳循环闭环,为政策落地扫清认知障碍。

与此同时,欧洲正加速生物基产业规模化落地。近期,欧洲生物基产业联合企业(CBEJU)宣布投入1.72亿欧元,资助来自32个国家的24个生物基创新项目,覆盖PHA规模化、生物炼制、包装替代、废弃物高值化等关键方向。其中包括1300万欧元打造100%可堆肥纸基气泡膜、2000万欧元建设马铃薯残余物生物炼制厂、2000万欧元攻关生物乙醇转化长链醇技术、1500万欧元推进城市有机废料制PHBV聚合物等四大旗舰项目,同时布局11项创新行动与8项前沿研究,聚焦PHA、生物基染料、菌丝体材料、藻类制品等,构建从实验室到工业化的完整转化链条。资金密集、项目密集、方向密集,显示欧洲已抓生物基材料视为脱碳与循环经济的核心抓手,政策目标与产业投入形成闭环,确定性进一步强化。

## 我国自研菌丝蛋白获批作为新食品原料

2026年5月,国家卫健委发布公告,批准“紧密镰刀菌蛋白MM-135”作为新食品原料。这是我国首例全流程自主原创、拥有全球知识产权的新一代菌丝蛋白,标志着我国在微生物蛋白领域实现从0到1的历史性突破。

菌丝蛋白,就是通过菌丝体发酵获得的蛋白。据检测,该菌丝蛋白干基蛋白含量超过50%;富含膳食纤维,具备零胆固醇、低脂肪的天然优势;含有人体所需的全部9种必需氨基酸,且配比均衡。

口感方面,菌丝蛋白具有天然的纤维结构,可通过蒸煮、冷却、冷冻等工艺复刻动物肉的外观、纤维质地与咀嚼感,替代植物蛋白应用于植物肉中以改善特性,突破替代蛋白领域长期存在的“口感瓶颈”。

菌丝蛋白可广泛应用于肉制品替代、休闲食品、功能性食品等领域。

## 生物基原材料来源无处不在

在涂料与包装涂层领域,传统产品长期依赖化石来源的添加剂和聚合物。近期公布的两项研究,展示了如何将看似无用的农业废弃物(水果加工废料与猪粪)转化为高性能的生物基涂层成分。

水果废料基涂层提升包装阻隔抗氧性能。研究人员利用菠萝蜜种子淀粉、蜂蜡等不同浓度的柚子皮提取物(PPE)制备了一种水性生物聚合物涂层悬浮液,用于提升纸质包装的性能。该涂层含有萜烯类化合物,包括乙酸酯、醇和醛,这些物质具有抗氧化、抗菌、芳香和疏水特性。实验结果显示,该涂层能够有效提升传统包装纸的阻隔性、机械强度和抗氧化性能,尤其适用于对氧气和水敏感的干制食品包装。

猪粪源植酸提取制备高性能生物基防腐涂料。德国涂料制造商Oellers与下莱茵应用科学大学(HSNR)及特种机械制造商3WIN合作,共同开发了一种能够从农业废料中生产防腐涂料关键功能材料的工艺。研究人员利用酶法工艺从猪粪中提取植酸,并使其所含的磷能够作为胶粘剂组分使用。如果成功实现规模化,源自畜禽粪便的生物基磷有望为功能性涂料成分(尤其是防腐涂料领域)提供一种可持续的替代来源。