

波士顿咨询集团

合成生物学如何改变材料行业

中国科学院上海营养与健康研究所

上海生命科学信息中心

上海市生物工程学会

2024年1月

波士顿咨询集团

合成生物学如何改变材料行业

编者按：波士顿咨询集团（Boston Consulting Group, BCG）研究团队在 *Industrial Biotechnology* 杂志发表产业综述文章，探讨了合成生物学对材料行业的改变，分析了目前合成生物材料行业的发展现状、可能面临的问题与挑战，以及未来发展可能需要关注的重点等。

合成生物学可以设计和工程化改造生物系统，以此创造和改进相关工艺和产品，并提供生产几乎所有消费品的新方法，从香料、织物到食品与燃料等。许多人认为，合成生物材料、化学品及相关成分是制造具有新功能且低碳，甚至自然沉积材料的潜在机会，但潜在的合成生物学投资者都应该更加谨慎地评估这些机会，无论是企业、风险投资还是私募股权。尽管迄今为止，合成生物学展现出的潜力和投资热度是真实的，但其相关进展并不均衡。目前，合成生物学在医疗保健和食品行业市场已经有许多成功案例，也获得了大量资金。化工和材料行业虽然有一些商业上的案例，但还存在很多技术瓶颈和市场困境。

根据 *Built with Biology* 的报告，在材料领域，研发企业和新产品长期以来一直面临着高效价值链的挑战，这也是材料领域初创企业在 2021 年仅获得合成生物学领域 170 亿美元投资中的 4% 的原因之一。化工和材料领域初创企业及研发人员需要在其行业或重点领域找到技术能力、市场需求和成本的汇合点。企业家、投资者和其他参与者通过实现相关的关键因素，建立稳固的商业和财务基础，促使合成生物材料行业能够实现其创新解决方案和价值承诺。

1. 什么是合成生物材料？

该报告将合成生物材料定义为利用合成生物学的“设计-构建-测试-学习”方法进行基因工程改造的生物体所生产的材料（图 1）。这些生物体通常是发酵的（例如，细菌和酵母），也可以是培养的（例如，菌丝体或植物细胞）。合成生物材料涵盖了多种类型，包括基础化学品和商业化学品、特种化学品和化合物、聚合物，以及纤维、织物和复合材料等。这些材料在多个行业都有应用，包括用

于消费品的包装和零售，纺织品、服装和奢侈品，以及美容和化妆品。

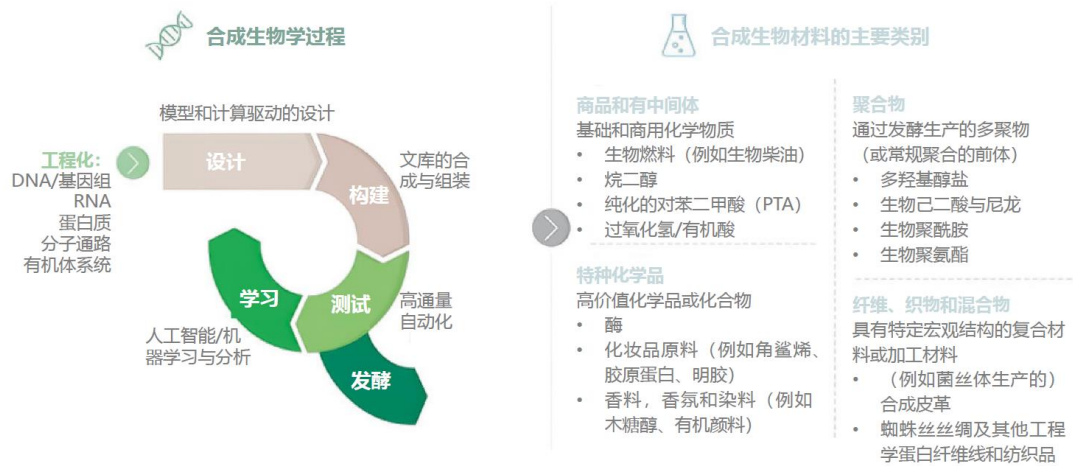


图 1 合成生物材料的范畴

图片来源：BCG, “Looking to Nature for the Next Industrial Revolution,” March 2021.

2. 合成生物材料行业的潜力

根据 BCG 亨德森研究所 (BCG’s Henderson Institute) 的分析显示，到 2030 年，合成生物学有望影响全球 GDP 中 30% 以上的行业。不同行业的时间线和预期影响各不相同，预计材料和化学品在中期内将面临来自合成生物学替代品、基于成本的竞争。

BCG 的研究指出了合成生物材料如何为碳友好型产品找到可行的市场，并吸引私人资助者和企业合作伙伴的兴趣和投资。总部位于美国得克萨斯州休斯顿的合成化工公司 Solugen 专门生产负碳的化学品，并在 D 轮融资中筹集了超过 2 亿美元，其总估值超过 20 亿美元；总部位于美国伊利诺伊州斯科基的 LanzaTech 主要关注将废碳转化为燃料和织物等有用材料，该公司与主要的橡胶和树脂生产商日本住友理工公司 (Sumitomo Riko) 成立了合资企业，致力于在合成橡胶生产中重复使用橡胶、树脂和氨基甲酸酯等废料。

该报告分析显示，目前有 79 家合成生物材料企业专注于从服装到化学品再到化妆品的应用，并已经吸引了近 80 亿美元的私人投资 (图 2)。近年来，资助活动的数量和金额都有所增加。2018-2022 年间，融资活动激增，从 21% 增长到 35%，每年增长近 10%。特种化学品和配料制造商占投资活动的 42%，其他部分大致平均分配在纤维、织物和复合材料，商品化学品，以及聚合物。每年的资金

额从 3.3 亿美元飙升至 22.2 亿美元。

投资增加的重要原因之一是对 CO₂ 减排的需求。包括食品、建筑、时尚、电子（以及它们消耗的能源）等在内的 8 个全球供应链占有所有碳排放量的 50%，其中大部分 CO₂ 是在原材料提取和提炼过程中产生的。用生物替代品取代原材料将加速当前全球供应链的重组，对物流产生连锁反应，并可能产生重大的积极社会影响。

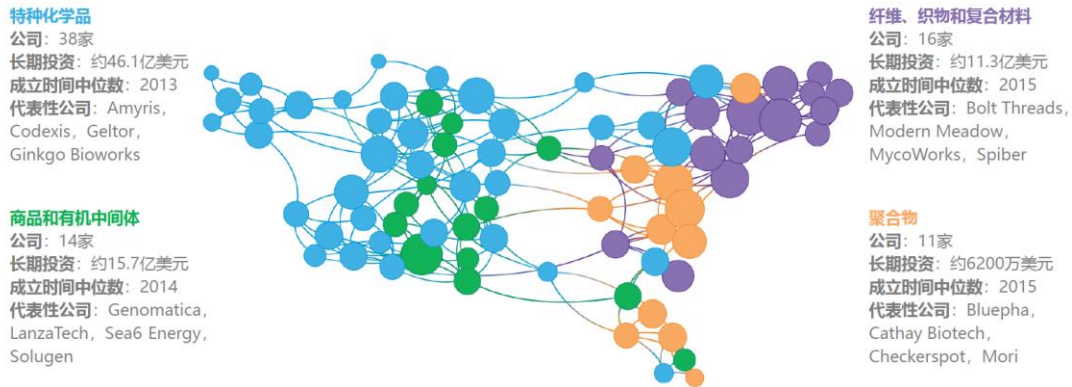


图 2 多元化的合成生物材料企业吸引了近 80 亿美元的私人投资

图注：每个节点代表一个企业，节点大小由其与集群中其他节点共享特征的程度决定。利用自然语言处理，根据业务描述对企业进行聚类。图片来源：BCG Center for Growth & Innovation Analytics.

3. 合成生物材料行业面临的挑战

新兴材料和合成生物学平台正在整合进新的制造系统中，为克服长期存在的效率、规模、弹性和可持续性之间的平衡问题提供可能的突破途径，但现有的价值链更加倾向于使用价格和性能上具有竞争力的替代品，而不是鼓励新的使用案例和新颖的功能。这就导致了合成生物材料需要在规模、经济和价格上与传统产品相匹配，无法使更昂贵的生物来源产品实现规模化。

与其他深度科技创业企业类似，合成生物材料公司面临许多挑战，即使那些筹集了大量资金的企业，失败率也很高，而成功通常需要很长的过程。

BCG 的研究跟踪了 19 家已经筹资私人资金超过 1 亿美元的企业。分析发现，已有 4 家倒闭或被收购，少数上市公司的业绩也参差不齐。这些企业（除 3 家外，其余均为美国企业）的维持时间从 2 年到 25 年不等，有 12 家成立于 2015 年或更早，其中 6 家在 2010 年之前成立。这也间接表明评估先进技术的潜力相

对较为困难,而找到市场需求和新兴技术的成功整合并实现潜力则具有更大的挑战。因此,该报告总结了合成生物材料企业面临的大量且具体挑战。

3.1 产品与市场不匹配

用准确满足其需求的产品来对标正确的市场或细分市场远非易事。材料领域的企业家往往高估了新材料集成到产品或工艺中的难易程度。真正直接替代的解决方案是很少见的,因为价值链上的性能要求往往对外界是不透明的,而且难以测试,往往会导致失败。在服装行业,聚羟基脂肪酸酯(PHA)、蜘蛛丝、壳聚糖等生物源材料未能取得实质性进展,原因在于工厂和生产商都缺乏动力来承担新材料与现有加工设备不兼容的风险。

3.2 经济学因素

即使产品和市场的契合度很高,初创企业仍然需要获得合适的经济效益,因为价格和风险敏感性会对新产品的接受程度产生决定性影响。这通常是一个新产品对最终用户或原始设备制造商(OEM)的价值问题,但它也可能涉及所有在这两者之间进行加工或转换的公司。许多大型市场对价格极为敏感,例如食品包装,企业并不愿意或无法接受更高的成本或有其他风险的新材料。例如,一家纺织初创企业研发的新材料在长期内具有减少碳排放和成本的良好潜力,然而在短期内,由于传统替代品生产成本较低,企业无法克服这一市场现实。

根据 BCG 的研究,如果一种产品能满足需求,例如减少温室气体排放范围 3 (Scope 3) 的排放¹,或者以其他方式帮助价值链参与者履行其气候承诺,一些对碳排放敏感的行业制造商会更愿意支付更高的价格,有时可高出 20%-30%。通常情况下,合成生物学企业依靠收取高额绿色溢价(高达 200%)来实现经济效益,而没有充分考虑这些成本将如何影响下游的其他企业。BCG 的研究表明,虽然高达 80%的消费者表示,他们在日常购买中会考虑可持续性,但只有 1%-7%(取决于行业)的消费者表示他们为可持续产品和服务支付了溢价。即使在消费者可能愿意支付额外费用的情况下,他们也很难认可合成生物学对整个产品的贡献。

3.3 技术推动而非市场拉动

即使是大型公司和老牌公司也认为:新产品或工艺的技术优势将会在市场上

¹ 范围一 (Scope 1) 排放是指直接的温室气体排放;范围二 (Scope 2) 排放是指外购能源产生的间接碳排放;范围三 (Scope 3) 排放是指除了范围一和范围二排放以外,上下游产业链产生的全部间接碳排放。

胜出，但是，从市场（以及大宗商品定价周期）上看，尽管聚合物、复合材料和纳米材料具有独特的功能，但许多材料的创新都未能创造新市场。因此，仅仅“以生物为基础”（或拥有“合成生物平台”）对市场而言是不够的。例如，一家合资企业建造了一个每年可以生产 5 万吨产品的工厂，但在运营的第一年可能都无法销售到 500 吨。特别是对于功能性材料，大客户通常对这些新产品的资格认证周期要求更高，耗时更长，远超出合成生物学创业者的承受能力。

3.4 规模

化工和材料初创公司面临双重挑战：他们需要增加销售额以降低成本，但他们瞄准的许多应用都可以通过大规模生产的传统产品来满足相应的经济效益。即使是公认的有前途的技术也会遇到困难。多家企业一直在努力获得资金解决扩大规模的问题。典型的合同开发和制造组织主要专注于医疗保健应用，缺乏生物材料菌株和纯化工艺的专业知识。一家初创公司背负着沉重的债务建造了第一家工厂，但随后可能成为能源和原材料成本优势的受害者，这种成本往往更有利于生产传统的产品而非创新产品。

3.5 缺乏商业模式的清晰度

新材料可以有許多潜在的市场，初创公司经常看到多种机会。这可能导致产品设计和商业模式不够清晰。需要确认的关键问题是：产品是原料还是成品？分子还是半成品？产品的目标是供应商还是最终用户？

当合成生物学产业创始人遇到其中一个或多个问题时，他们通常会寻求商业模式的改变（例如，从许可到服务，再到直接面向消费者），而不是优先考虑潜在的价值。这些方向的变化导致管理团队的困惑和分心，但管理团队更应该专注于商业化和规模化等关键问题。

4. 关注更加影响成功的因素

任何合成生物材料从实验室到市场的过程都是漫长的，有很多失误或要走很多弯路。创业者需要从一开始就密切关注市场。如果创业者能够把握住影响成功的因素，投资者和企业合作伙伴或将帮助他们度过创业的中后期。

4.1 市场

创业者应该从解决市场问题出发，而不是从开发技术开始。市场分析应包括对未满足市场需求的重要性的评估，以及启动并实现市场从当前产品或工

艺向新解决方案转变的可能时间表。确定可能改变目标或重塑竞争环境的政策和监管的变化等。

为了促进环境可持续性，解决方案必须在经济上合理。虽然“更好的生物技术”是一个令人信服的愿景，但如今市场上很少有产品达到真正减缓气候变化的程度。迄今为止，许多失败案例都是由于石油和大宗商品价格出乎意料的低，在新产品能够实现足够的规模经济之前，价格成本削弱了这些新产品的经济生存能力。

4.2 采用

由于合成生物学产品的产量往往较低，因此可行的解决方案更有可能在高价值市场中，可能采取高价值产品或功能替代品的形式，而不是作为大宗商品的替代品。例如，在香料和香料化合物中，已经有许多成功的利基合成生物的应用²。在这些化合物中，现有分子通常存在昂贵或供应有限的问题。此外，希望产生影响的公司将设计与当前系统或价值链兼容的解决方案，而不是需要重新设计现有的设备或工艺。例如，Bolt Threads 设计了 Mylo，这是一种由菌丝体（构成典型真菌的分支细丝）制成的可持续的皮革替代品，可供阿迪达斯和 Stella McCartney 等服装客户在其传统生产工艺中使用。

新的解决方案有时可以通过专注于密集市场或细分市场来实现。确定一个可实现的切入点有助于适当地关注并扩大规模。

4.3 支持

初创企业及其支持者不能指望客户来改进产品或改变产品生产流程以适应新的投入（尤其是如果这种产品本质上是一种新分子）。应用程序支持是关键，供应商需要了解客户的采购流程，在许多情况下，还需要了解他们制造的关键质量标准。他们可能需要为潜在客户在使用前进行测试。具有相关行业知识和经验的公司合作伙伴在这方面可以提供有用的帮助。初创企业还应考虑在目标市场的开发和销售团队中增加行业专家和相关从业者。

4.4 规模

对于材料公司而言，大规模生产其劳动成果的问题亟待解决，计划建立第一个试点工厂永远不会太早，包括制定预算和获取必要的工程以及项目管理人才的

² 利基（niche）是指针对企业的优势细分出来的市场，这个市场不大，而且没有得到令人满意的服务。产品推进这个市场，有盈利的基础。

计划等。从实验室到大型反应器，从模型到生产生物体，经常会导致生产效率和最终产品的滴度或浓度出现意外或其他问题。使用中试规模的设施并利用无细胞原型设计或将有助于降低风险。一些相对年轻的企业创造性地回收了现有的生产工厂，从而迅速达到应有的规模。2012 年，总部位于美国加利福尼亚州的生物技术公司 Genomatica 在田纳西州的杜邦泰特和莱尔工厂用 5 周时间生产了 500 万磅可再生 1,4-丁二醇 (BDO)。此后，欧洲两家主要的化工公司获得了该工艺的许可。

4.5 成本

替代材料的使用成本需要具有竞争力，新材料不应要求对供应链进行其他替代或更改，从而增加成本或造成生产瓶颈。合成生物学企业需要了解他们产品对客户产品总成本的贡献，无论是绝对的还是与竞争材料相比。例如，Amyris 成功地用甘蔗替代了角鲨烯（一种重要的疫苗佐剂），因为角鲨烯是从鲨鱼肝脏中提取的天然成分。Amyris 提供了高质量、可持续性、稳定的供应和稳定的价格，其中稳定的价格是价值主张中不可或缺的部分。

成功的企业针对特定的行业和需求。化妆品制造商可能愿意为合成生物学生产的染料或颜料支付更多的费用，是因为其产品的价格更高。相比之下，纺织公司不太可能在其大众市场产品中使用这种替代品，主要因为价格是其竞争的主要考虑因素，但是公司可能会考虑在向某些消费者群体销售的高价利基产品中谨慎使用它们。

4.6 价值主张

最重要的是，新的参与者需要理解经过客户反馈验证的价值主张，并坚持下去。该产品是否能提供卓越的性能？降低碳强度？成本更低？稳定供应？如前所述，Amyris 强调其角鲨烯替代品的质量、可持续性、供应和价格。Genomatica 强调其产品组合中产品的性能、可持续性以及“碳减排和竞争经济性”，其中包括尼龙和棕榈油的替代品以及其他产品，可用于各种消费品和工业品，如鞋子、汽车零部件、电子产品和清洁产品。在这些情况下，企业的价值主张也符合市场和客户的需求。

有大量的早期证据表明，合成生物材料可以在多个 B2B (business to business) 和 B2C (business to customer) 领域产生影响，包括时尚、快速消费品和特种化

学品等。该领域的资金正在增加，对可持续性的担忧和净零承诺也进一步推动着技术的发展。初创企业、投资者和企业合作伙伴都需要专注于推进解决方案向前发展（图 3）。

初创企业需要像对待技术研发一样，在商业方面投入足够的精力。投资者必须了解新技术和材料进行取代和替换所需要的漫长时间表。同时，他们还需要向投资组合公司提供资金以外的其他支持。企业合作伙伴通常具备初创公司所缺乏的知识、经验和市场准入能力，只要他们拥有明确的目标和期望，就能发挥至关重要的作用。

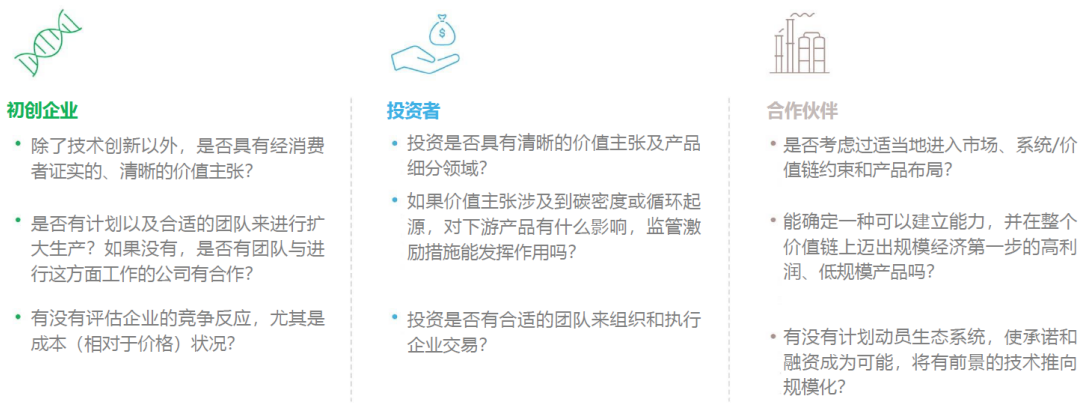


图 3 合成生物学参与者需要关注的关键问题

刘晓 张学博 编译自 BCG