



合成生物学革命

——投资可持续性科学

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
2022年6月

合成生物学革命——投资可持续性科学

编者按：合成生物学技术革命将对一系列产品的生产方式带来深远影响，包括从实验室培养肉到化妆品，再到可生物降解的包装等。然而，投资者对巨大商业潜力的关注仍然相对较少。2021 年 11 月，全球投资管理企业联博基金（AllianceBernstein, AB）发布了题为《合成生物学革命——投资可持续科学》（The Synthetic Biology Revolution——Investing in the Science of Sustainability）的白皮书，不仅为投资者详细介绍了合成生物学领域，还展示了该领域对更多行业日益增长的影响，以及它将如何为投资者们创造更多的机会和价值。

合成生物学正在通过改变大量产品的生产方式对人们的世界产生深远影响。麦肯锡 2020 年的报告估计，未来全球经济中将有 60% 的产品可以通过合成生物学实现，2030-2040 年间至少可带来 1.7 万亿美元的直接经济效益（图 1 左）。

合成生物学为什么对投资者很重要？报告阐述了该领域的基础知识，其指数成本的变化曲线和技术融合如何加速该领域的进步，并迅速扩展到新的应用中。报告认为，合成生物学对行业日益增长的影响将创造许多具有吸引力的投资机会，而对全球可持续性科学（Science of Sustainability）的推动将是加快其走向应用的催化剂。与互联网革命相似，需要有效投资和支持合成生物学企业，以挑战现有企业的利润池。总之，投资者不能忽视合成生物学广泛、颠覆性的潜力。

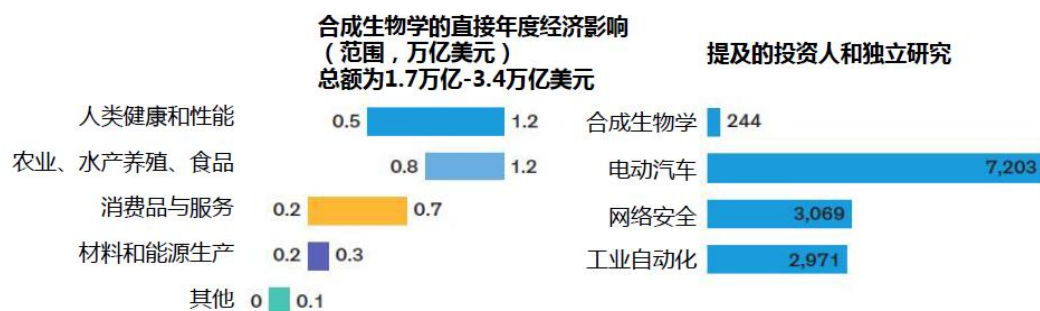


图 1 合成生物学：对比其巨大潜力，研究报道还相对较少

*这些影响评估并不全面，只包括识别和评估可见应用途径的潜在直接影响。评估值并不代表 GDP 或市场规模（收入），而是直接影响经济，更广泛的连锁经济影响也不包括在内。相对于 2020 年的经济估计；它们不包括人口统计和通货膨胀等变量。由于以下原因，数字总和可能不等于总数。

†所提到的投资人和独立研究是指过去两年中出现的次数。

尽管合成生物学具有巨大潜能，但受投资分析师的关注还是相对较少（图 1 右）。由于资产管理公司通常都是针对某一行业进行研究，这并不太适合合成生物学这种将会带来的跨行业的领域。投资组合经理需要跨行业合作，同时将基础研究应用于新产品、公司和市场，进而抓住这一变革性的投资机会。以材料科学为例，其上一次重大进步发生在 20 世纪初，当时开发出了石油的副产品——塑料。现在，利用空气中的 CO₂ 可以创造完全生物降解的产品，合成生物学正在通过推动可持续发展改变人们日常生活的环境足迹，或将开启一个全新的、投资者无法想象的创意世界。

1. 技术融合：扩展基因测序的潜力

数据的指数级增长以及技术融合正在加速合成生物学的发现和新产品开发，该趋势也吸引了各子领域的投资者，人们往往会低估指数增长的长期结果，而指数增长也挑战了人们所熟悉的线性思维过程。

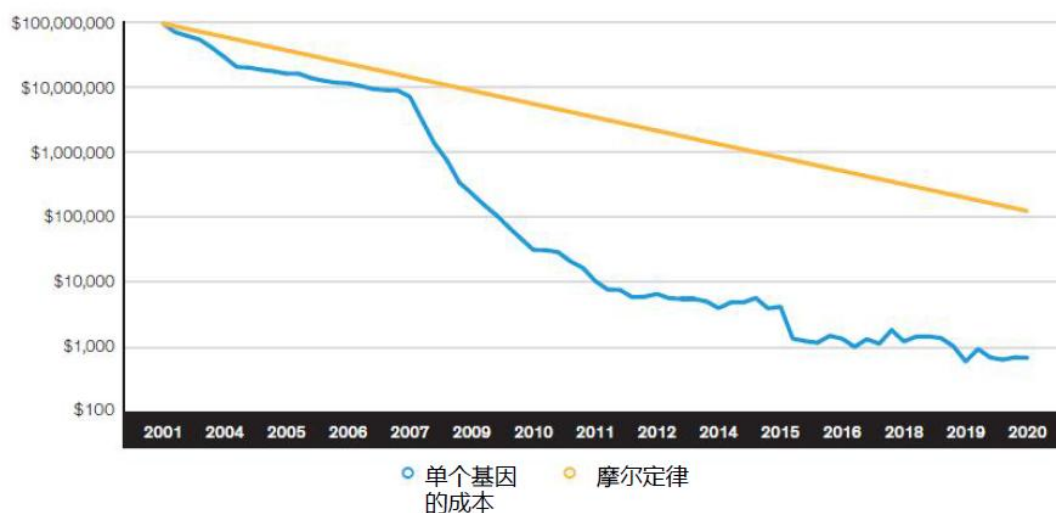


图 2 基因测序成本的趋势变化

过去 20 年，DNA 测序成本下降速度比摩尔定律还要快（图 2）。从 21 世纪初的数亿美元降到今天的数百美元，下降了大约 100 万倍。越来越便宜的 DNA 测序带来的结果就是基因组数据的快速增长，处理数据的能力也有所提高。2012 年，莱斯特大学的研究人员在纸上打印了一个人类基因组，并组装成 130 本书，将其全部阅读完大约需要 95 年。如今，大数据领域的处理能力以及人工智能和机器学习等数据工具的发展，大大降低了基因组信息的分析难度。

除了指数级成本下降曲线外，基因组学和合成生物学还受益于基因编辑工具

的发现。在基因组学中，最具挑战性的问题之一是如何将数以百万计的基因差异与其在身体功能方面的实际意义联系起来。现在，通过基因编辑，科学家们可以进行有针对性的研究并观察到基因组的变化。2020 年，基因编辑技术研究在 6200 多份科学出版物中被广泛提及，而十年前还不到 100 份（图 3）。

廉价的 DNA 测序和合成、数据分析和基因编辑技术正在掀起了一股“现代淘金热”，进而发现下一个轰动一时的合成生物学产品。

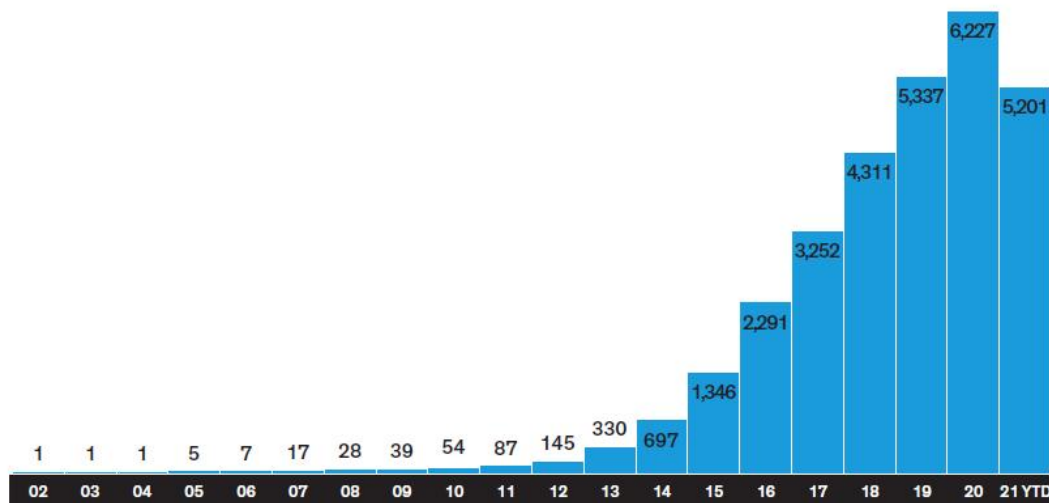


图 3 基因编辑技术研究逐年增长

技术融合（DNA 测序、DNA 合成、基因编辑和人工智能）是相互加持的，其潜力将大于各部分的总和（图 4）。如果没有大数据，解读庞大的 DNA 数据几乎是不可能的。如果没有基因编辑与合成技术，在探索新的基因方面将受到限制。人们可以通过分析设计细胞，发现效益，例如，细胞可以利用特定原料，更有效地将其转化为最终产品（图 4）。

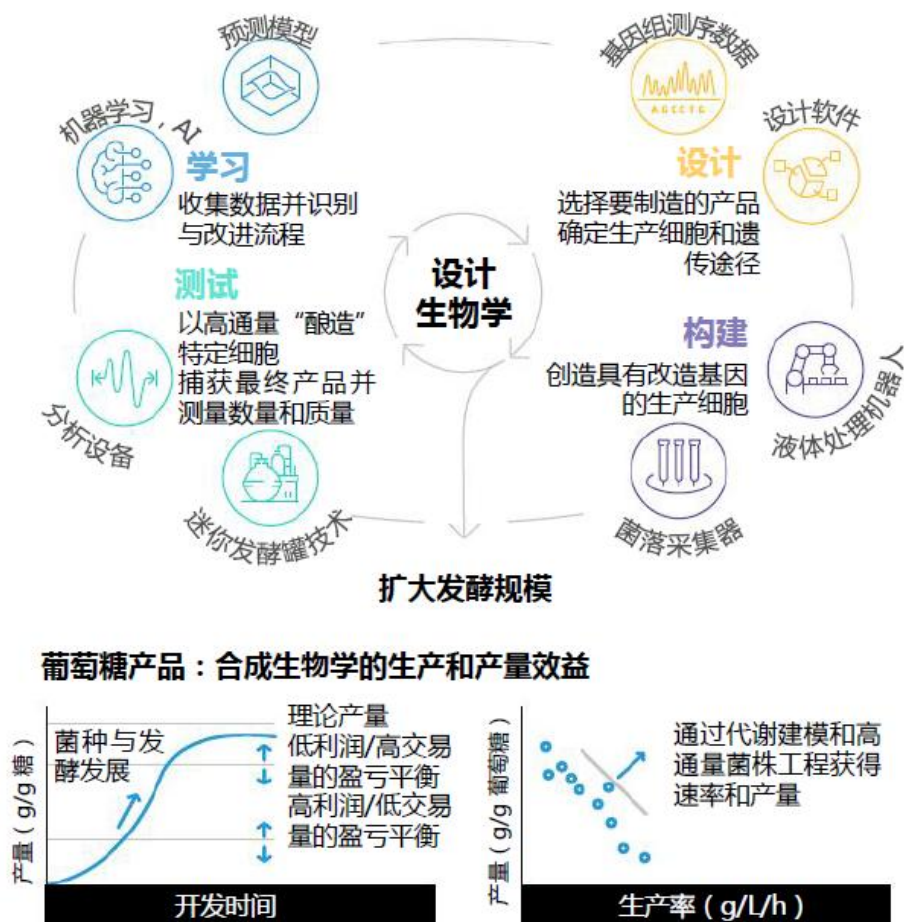


图 4 技术进步加强了工程化的过程

信息框 1：这一切对投资者意味着什么？

成本的下降和合成生物学的发现将压缩现有企业的利润，同时为新企业创造机会。对合成生物学前景的预测不能基于当前的成本和技术能力，因为两者都在快速发展，包括合成生物学渗透到医疗保健以外的产品和行业的速度。根据本报告对投资者和公司新闻的梳理，合成生物学并不是热门话题，投资者可能低估了其影响力。

与许多变革性技术一样，合成生物学是一种“趋势突破”，即公司之间利润资金池的转变。这种转变会削弱现有企业，投资者应该意识到不要过多把注意力集中在大型基准公司，这些公司的规模和地位都是在先前创新和技术背景下实现的。这种转变也不是一蹴而就的，因此其影响力不会在近期的一两年内就体现出来，这也正是使投资者带有相关偏见的原因。

2. 从个性化医疗到个性化的一切

合成生物学彻底改变了医疗行业的产业规模，包括药物研发。从历史上看，制药企业会针对靶向疾病筛选尽可能多的化合物，从而发现可能有效的靶点。制药企业在全世界搜寻天然化合物，如马达加斯加的花朵、北美的树皮和非洲的蛇毒。筛选的化合物越多，成功几率就越高。这种方法成功了很多年，直到合成生物学的出现。

如今，研究人员可以根据目标疾病定制蛋白质，增强药物疗效并加速发现。2020 年，新型冠状病毒基因组测序后，Moderna 闪电式地创造了基于 mRNA 的新冠疫苗。更重要的是，旧的制药模式下，产品筛选和营销所需的规模使得罕见疾病的药物发现通常不具有经济效益。新型生物技术工具改变了计算方法，也能发现为罕见疾病设计有利可图的治疗方法。

制药行业也在为个别患者设计完全个性化的药物。这或将改变药品的销售方式。药物将越来越多地针对特定患者，通过基因测试指导医生进行最有效的治疗。

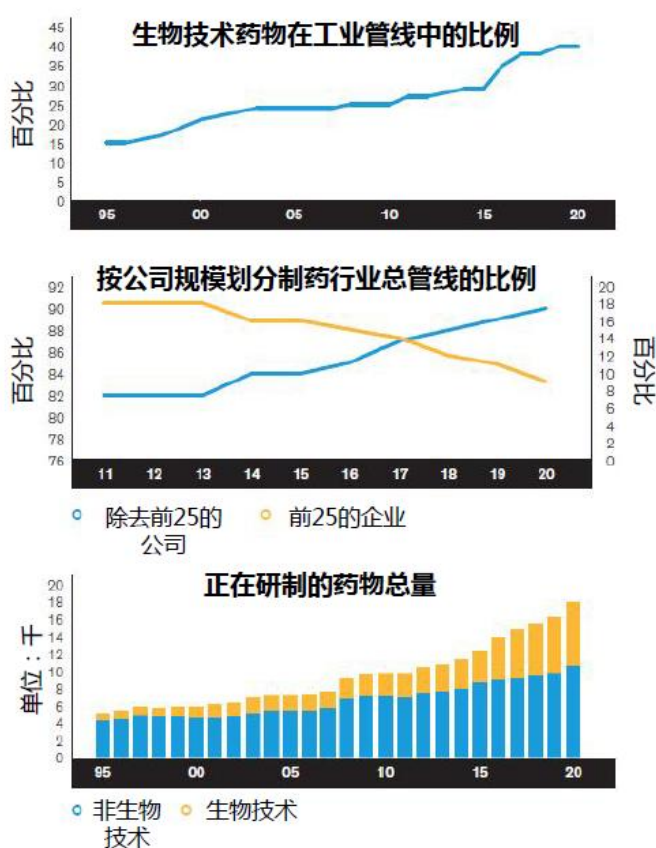


图 5 生物技术正在重新定义医药市场

20 世纪 70 年代，新的生物技术药物出现时，并未出现在制药行业生产线中；如今，它们已占据这条管线的 40% 以上（图 5）。在规模较小的药物开发商中，甚至约占研发管线的 90%。

如果按公斤计算，生物技术药物是世界上最昂贵的产品之一。由于合成生物学带来的成本持续下降，越来越多的产品和行业将面临颠覆性变化（图 6）。

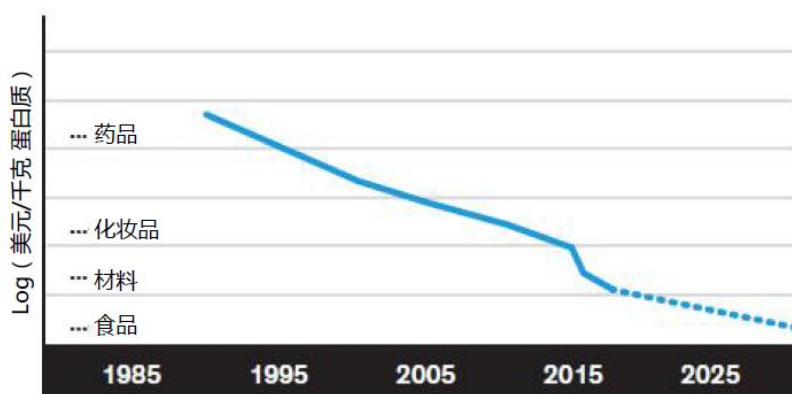


图 6 随着成本下降，合成生物学正在影响更多行业

3. 超越生物技术

合成生物学正迅速从生物技术产业扩展到更高价值的利基材料和成分。例如包装食品或个人护理产品中的添加剂、香味剂、调味品和塑形剂。从历史上看，材料行业的规模主要是依靠制造能力，拥有大规模工厂的公司可以将其固定成本用于提高产量，进而提供更大的规模经济和定价杠杆。合成生物学利用 DNA 测序和计算成本的快速下降，颠覆了规模的概念，能够以更低的生产量达到与传统制造方法同等的价格。过去，规模是关键，同一产品，产量是主要指标。未来，更小的生产批次将有助于开发更小规模的应用材料。食品成分可能会针对特定市场和应用进行开发，个性化和多样性将对消费者更具吸引力。

制药公司和生物技术公司通常将很大一部分销售额投入到研发中。随着不断加速的行业创新，企业的研发支出也在增加。随着合成生物学技术的发展，壁垒的减少带来了新的竞争者。同时，随着研发重点转向更适合的产品，而不是更大批量产品制造，企业可能需要在研发上投入更多资金。

合成生物学也可能会促使供应链重新调整，例如，材料企业进一步向上游移动，从而确保获得甘蔗之类的“原料”。相反，其他企业可能会通过更多创新向下游移动，从而更接近最终产品。更小、更高效的生产量可以支持制造本地化，提高材料生产的经济性，这可能有助于缓解不稳定的“繁荣/萧条”利润周期。

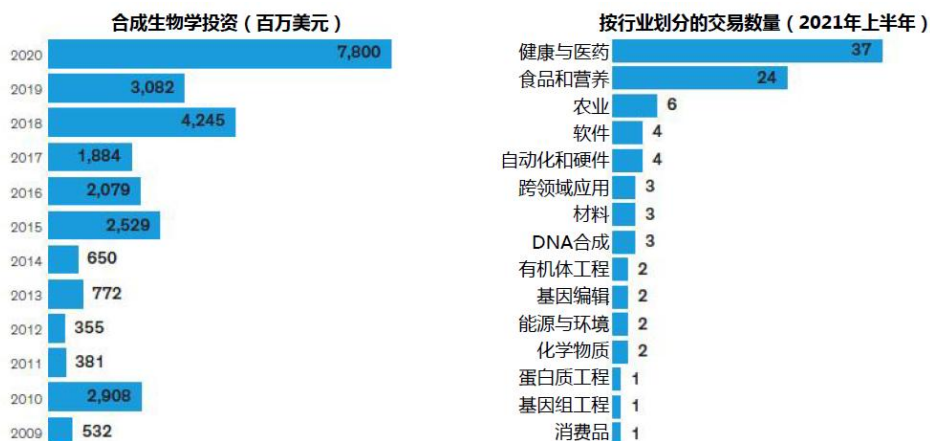


图 7 对合成生物学的投资大幅增加

2020 年，合成生物学领域的资金大幅增加（图 7）。随着合成生物学应用到其他行业，成本持续下降，支持这项研究和生产的企业将从中受益。此外，AB 的数据科学团队建立了一个专有工具，用于梳理合成生物学研究论文，识别研究论文中引用的特定产品，利用基础研究来确定具有吸引力的投资候选人，从而确定可能最相关的上市公司（图 8，信息框 2）。

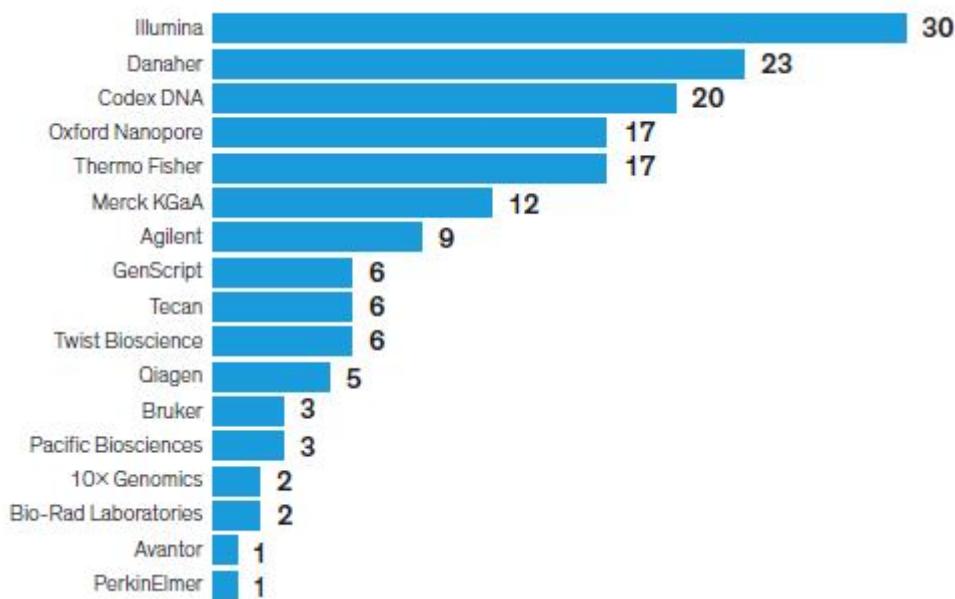


图 8 上市公司是合成生物学研究的重点（研究论文中被引用的次数）

和供应链中，而后来的技术采用者赶上来并在基于互联网的销售中投入了更多资金。对于合成生物学领域，初创企业正在利用技术在越来越多的终端市场挑战现有企业，例如，开发基于合成生物学的新材料产品（如尼龙、维生素 E 和香草调味品等），开发细胞培养肉类并致力于取代传统肉类产品。

行业颠覆的时间和规模有许多因素，包括投入产品的价格弹性、产品开发周期和监管，以及消费者口味等。对投资者而言，意味着需要在行业内进行逐个公司、自下而上的研究过程，从而确定机会；简单地向受影响的部门或行业进行投资是行不通的。合成生物学的应用可能也不会一帆风顺，随着价格点（price point）和技术开发，更多应用程序开放，以及行业现有企业加大投资力度，技术可能被迅速接受。类似汽车行业中，由于不断下跌的电池价格、特斯拉的成功以及对环境的担忧，使得传统汽车制造企业转向直接投资电动汽车领域。类似的动态在合成生物学领域可能会撼动消费品市场。随着未来几年的发展，积极的投资对合成生物学生态系统在未来的特定应用上来说至关重要。

信息框 3：合成生物学革命的投资问题

对早期技术的投资也会带来独特的挑战和特殊的机遇。本报告认为投资者应该关注以下问题，用于评估公司从合成生物学中受益的潜力。

产品在经济上可行吗？

21 世纪初，一些企业就试图开发新的生物燃料。尽管市场潜力巨大，但早期基于合成生物学的产品在成本上无法与廉价且丰富的天然化石燃料竞争。虽然合成生物学的研发成本正在迅速下降，但生产成本必须能够与传统工业工艺相竞争，产品才能成功。

消费者会接受合成生物产品吗？

即使是有经济意义的产品也将面临社会接受度的问题。需要确认企业和消费者是否会接受基于合成生物学技术的全新材料所制造的产品。

企业能否克服转换成本和供应链刚性？

一些企业可能难以采用基于合成生物学的制造工艺。由于前期成本和初期效率较低，企业需要花费几十年将其完全整合到自身的制造业中。克服这些挑战将有助于促进销售的增长。

制造业将如何扩大规模？

扩大新的合成生物产品的生产能力是巨大的挑战。工艺的技术规格以及生产水平能力的获取是重要的考虑因素，通常这也是一笔巨大的费用。

早期技术使用者会坚持致力于该技术吗？

投资者应该核实合成生物学工作是否超出了“概念验证”或“试点项目”范围，建立内部专业知识，例如研发、企业风险资本投资或合成生物学合作伙伴关系等，都可能显示出公司真正关注的方向。

价格合适吗？

与任何投资一样，估值至关重要。投资者不应该只支持对合成生物学有最多接触的企业或受到媒体更多关注的企业。通常情况下，最好的机会可以在那些间接受益于该技术的企业中找到，这些企业可实现具有吸引力的增长，同时也能以更合理的价格出售。

5. 制造业是关键瓶颈

发现新的蛋白酶或诱导酵母细胞生产产品的方法是一方面；将产量提高到商业规模则是另一个巨大挑战。现有制造工艺已经经过几十年的优化（对于农业/自然生长的产品，更是数千年的优化）。传统的生物产品企业不仅在优化基因组工程确保商业规模经济生产方面拥有宝贵的经验和数据，还拥有制造基地和扩张资本。如今，建立新的合成生物学生产能力的成本可能需要 5000 万到 1 亿美元，对于规模较小的初创企业来说，这是一项艰巨的任务。对于专注于少数产品的利基公司来说，填补这样的空缺可能需要数年时间。由于整个行业的制造能力都非常紧张，因此，很难以有吸引力的价格获得外包制造能力。

报告提出，具有开发生物产品经验的精选材料企业可以利用其专业知识和合成生物学拓展新市场，创造有吸引力的投资候选者。例如，新型酶正在进入更广泛的终端产品，如家用清洁剂等；人造工程微生物可以打开广阔的农业新市场。此外，制造业产能的扩张迫切需要私人资本进入，这也与实现联合国可持续发展目标（SDG）所需的 90 万亿美元投资相一致（信息框 4）。

1 消除贫穷**2 消除饥荒****9 工业、创新
和技术设施****11 可持续
城市和社会****12 负责任的
消费和生产****信息框 4：可持续发展的催化剂**

合成生物学的应用提供了创新的产品和解决方案，或将有助于解决 17 个可持续发展目标和 169 个详细子目标中的多个问题。

创造肉类和奶制品替代品可以帮助养活不断增长的全球人口，确保可持续食品生产体系和弹性农业，帮助实现目标 1 和 2 中的次级目标定义的极端贫困。合成水泥可以解决目标 9 和 11，升级各地的基础设施，实现更清洁、环境友好的技术和工业流程。创新的可生物降解包装产品有助于减少废物产生，这是目标 12 的关键目标之一。

报告指出，确定符合可持续发展目标的合成生物学公司，研究和产品是很好的投资策略。特别是，投资者应该在可持续发展目标中寻找最有可能需要大量私营部门创新和准入的机会。

全面、可持续的方法还需要彻底评估环境、社会和管理（ESG）问题。例如，合成生物学企业必须采取预防措施，确保基因工具不会被用于恶意目的，防止新产品不安全地释放到自然环境中；证明食品配料和产品的安全性。产品生命周期应中检查是否存在不良副作用，例如原料来源可能对当地资源和供水造成负担。企业还需要保留和吸引基因组学和人工智能等高科技人才，这也是投资者需重视的人力资本问题。

通过将可持续发展目标与合成生物学企业建立明确联系，同时在 ESG 问题上与管理层保持联系，积极的投资者将能够找到真正的、可持续的方案，解决全球面临的一些最紧迫问题。

6. 可持续性正在推动增长

随着价格下降和性能改善，可持续性是推动合成生物学应用的另一个催化剂。与使用传统能源密集型化学合成和传统农业生产产品相比，利用合成生物学生产产品将更具可持续性。麦肯锡估计，到 2040-2050 年，直接应用合成生物学可以将年平均人为温室气体排放量在 2018 年排放水平上减少 7-9%。总部位于美国加州的食品技术公司 Perfect Day 估计，其“生产无动物牛奶蛋白的工艺与传统乳清乳制品工艺相比，可减少高达 97% 的温室气体排放”。

除了更低的生产碳足迹，合成生物产品还可以设计更可生物降解的产品。美国加州北部的 Paradise Packaging 公司正在利用合成生物学生产一种用于产品包装的坚固木质材料，它们可在 30-45 天内完全降解。英国的 Colorifix 公司利用生

物体中编码色素的 DNA 来生产服装和其他产品的染料，其工艺比传统染色工艺用水至少减少 68%，比合成纤维工艺用水减少 90%。

各个行业和地区的公司都面临来自消费者和投资者的压力，要求他们减少环境足迹。许多公司的目标是根据巴黎协议减少温室气体排放。加拿大运动服装制造商 Lululemon 2021 年 8 月宣布将用合成生物学制成的材料替换衣服中石油来源的尼龙，帮助公司实现更长期的环境可持续性目标。耐克 2021 年也发布了类似声明：与替代塑料制造公司合作，从而实现负碳足迹。除了科技发展和消费者对可持续性的更多认识，投资者和企业将帮助推动合成生物学走向应用。

7. 跨部门颠覆性带来投资挑战

由于颠覆性并不局限于某个行业，有些投资者在抓住机遇方面可能面临挑战。几十年来，合成生物学主要用于生物技术公司，投资分析通常出现在行业竖井（silo）中，医疗分析师更关注医疗公司和技术，消费者分析师更关注消费者公司等。就合成生物学而言，生物技术和生命科学工具的投资者熟悉技术和原理，但不熟悉最终市场，如配料、食品和材料等。与此同时，材料和消费者分析师对合成生物学的技术和工具也并不熟悉。

跨部门合作并不是投资公司的常态。2021 年 8 月 4 日，合成生物学公司 Zymergen 披露其领先产品的客户量低于预期之后，股票下跌了约 75%。在 Zymergen 组织的与投资界的电话会议上，一位行业分析师评论说，他的同行们正在被要求评估电子产品、消费品和农业产品。由于这“超出了他们的范围”，分析师被迫更多依赖于公司信息。基础投资者需要形成独立的观点，而不仅仅依赖公司的预测。因此，报告提出，需要持续的合作和跨部门分析师的参与。合成生物学生态系统的会议应邀请涵盖工业、材料、消费者、技术和生命科学领域的相关分析师，为投资提供更广泛且不同的视角。

8. 评估风险：消费者接受和监管

合成生物学的发展也将面临风险，影响发展的两个关键问题是消费者的接受度和监管问题。

一些消费者可能会对“实验室中生长”的产品，尤其是食品感到反感。因此，合成生物学对人们日常使用和消费产品的渗入可能需要循序渐进。人造肉市场是合成生物学潜在市场。虽然多肉类爱好者认为，植物汉堡和香肠的味道和质地不

如动物蛋白产品，但世界各地实验室都在致力于创造更好的基于植物和实验室生长的蛋白质产品。此外，尽管目前植物肉产品质量还有待提高，但推出以来，已经有消费者接纳了它们。除了追求健康和环境效益外，消费者尤其是年轻人越来越想要多样化，并愿意尝试新事物。这一趋势在中国这样的发展中经济体尤为明显。未来，随着合成产品不断发展，它或将与天然牛肉相媲美甚至超越天然牛肉。

监管问题也是推动合成生物产品的重要因素。生物行业也从社会抵制中吸取了深刻教训，转基因生物从问世就一直被抵制。这也促使行业和决策者之间进行了更积极的接触。新的基因技术发展比监管进步更迅速。例如，使用 CRISPR-Cas9 对细胞 DNA 进行“复制和粘贴”时，可以无需将外源 DNA 导入细胞（转基因的定义）。在一个典型的合成生物学工艺中，基因发生改变的有机体，如酵母细胞，最终是作为废物而不是最终产品的一部分。世界各国政府已经就联合国可持续发展目标中提出的一些重大挑战达成一致。合成生物学可以在可持续发展工作中发挥作用。

政府并没有试图对促进公司和高科技就业岗位形成的新技术进行更严格的监管，而是越来越多地相互竞争，目的在于为创新者提供支持的环境。虽然监管的路径不确定且难以预测，但报告仍然乐观并相信，投资者可以获得合成生物学投资机会，同时不会引发不必要的高位政策风险。

9. 投资“生物学世纪”

合成生物学刚走出实现生物技术产业的第一步。目前的工作主要集中在替换现有材料和成分上，但其未来潜在应用几乎是不可估量的。例如，新的癌症治疗方法包括编辑基因进而靶向癌细胞表面的特定分子，并将细胞注射回病人体内。全球正在接种的新冠疫苗，本质上是一种病毒，可以改变体内某些细胞的基因表达来产生抗原，这种促进免疫反应的分子将用于未来识别和中和冠状病毒。像这样的治疗在几年前是不可想象的。

合成生物学的未来应用可能会发掘出今天无法想象的新型因子和产品。随着新产品的开发和商业化，相信合成生物学将创造更有吸引力的投资机会及财务回报，同时为社会和环境带来积极回报。报告认为，投资者需要利用进行深入研究和积极的跨部门投资，才能继续从“生物学世纪”中获利。