



刘晓, 中国科学院上海营养与健康研究所生命科学信息中心馆员, 主要从事生命科学相关领域情报研究。参与了国家自然科学基金委、科技部、中国科学院、上海市科委的多项战略研究和软科学研究项目。

## 英国合成生物学规划及其影响与启示

周光明 陈大明 熊燕 刘晓\*

(中国科学院上海营养与健康研究所, 上海 200031)

**摘要** 合成生物学作为新兴前沿交叉领域, 越来越凸显出其在低碳经济中支撑经济增长的巨大潜力。英国把合成生物学列为未来八大技术之一, 是首个在国家层面通过路线图方式推动合成生物学发展的国家。该文分析了英国在发展合成生物学方面的政策研究、战略规划、发展模式以及近年来取得的成效等, 旨在为我国合成生物学等前沿技术科技规划的制定与设计、基础设施建设与产业转化等提供参考和借鉴。

**关键词** 合成生物学; 政策研究; 战略规划; 产业转化

## UK Synthetic Biology Strategic Planning and Its Enlightenment

ZHOU Guangming, CHEN Daming, XIONG Yan, LIU Xiao\*

(Shanghai Institute of Nutrition and Health, Shanghai Institutes for Biological Sciences,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

**Abstract** Synthetic biology, as an emerging frontier field which is growing fast, is playing a more and more important role and showing great potential applications in the low carbon economy. UK attaches great importance to synthetic biology, which drove this country to be the first country publishing national synthetic biology roadmap and specify synthetic biology as one of the ‘Eight Great Technologies’ in UK. This paper reviews the policy research, strategic planning, development model, and the achievements of synthetic biology in UK, hoping that this paper will provide references value for Chinese cutting-edge technologies planning.

**Keywords** synthetic biology; policy research; strategic planning; industrial transformation

合成生物学这一新兴前沿交叉领域的崛起, 突破了生物学以发现描述与定性分析为主的传统研究方式, 为生命科学提供了新的研究思路, 开启了可定量、可计算、可预测及工程化的“会聚”研究新时代<sup>[1]</sup>。它不仅将人们对生命的认识和改造能力提升到一个

全新的层次, 也为解决与人类社会相关的全球性重大问题提供了重要途径。英国是首个在国家层面通过路线图方式推动合成生物学发展的国家, 近几年在合成生物学领域也取得了显著成效。其对新兴科技领域进行规划和设计的思路, 以及在推动本国合

\*通讯作者。Tel: 021-54922968, E-mail: liuxiao@sibs.ac.cn

\*Corresponding author. Tel: +86-21-54922968, E-mail: liuxiao@sibs.ac.cn

网络出版时间: 2019-12-11 11:00:59

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2035.Q.20191211.1100.016.html>

成生物学发展中的政策措施、发展模式等,都值得我们借鉴和参考。

英国的合成生物学发展主要分为三个阶段:第一个阶段是2007—2012年,通过政策推动做一些研究布局,积累前期基础。第二个的阶段是2012—2016年,以路线图发布为标志,英国开始全面布局 and 推动合成生物学的发展,到2016年形成该领域的国家战略。第三个阶段是2016年至今,以战略规划中提出的研究与转化国家体系为目标,从研究与平台、开发与转化到人文科学环境,逐渐形成了良好的合成生物学科技创新环境。

## 1 前期政策研究推动科学研究布局,为战略规划制定奠定基础

英国在合成生物学领域是对科学研究的支持与社会问题的交流同时进行(图1),前者增强国家在该领域中的实力,后者为政策制定和公众对话奠定基础。早在2007年,英国生物技术和生物科学研究理事会(Biotechnology and Biological Sciences Research Council, BBSRC)和工程和物理科学研究理事会(Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC)就开始资助英国的合成生物学研究,同时在BBSRC官网的生命科学社会问题页面设立了

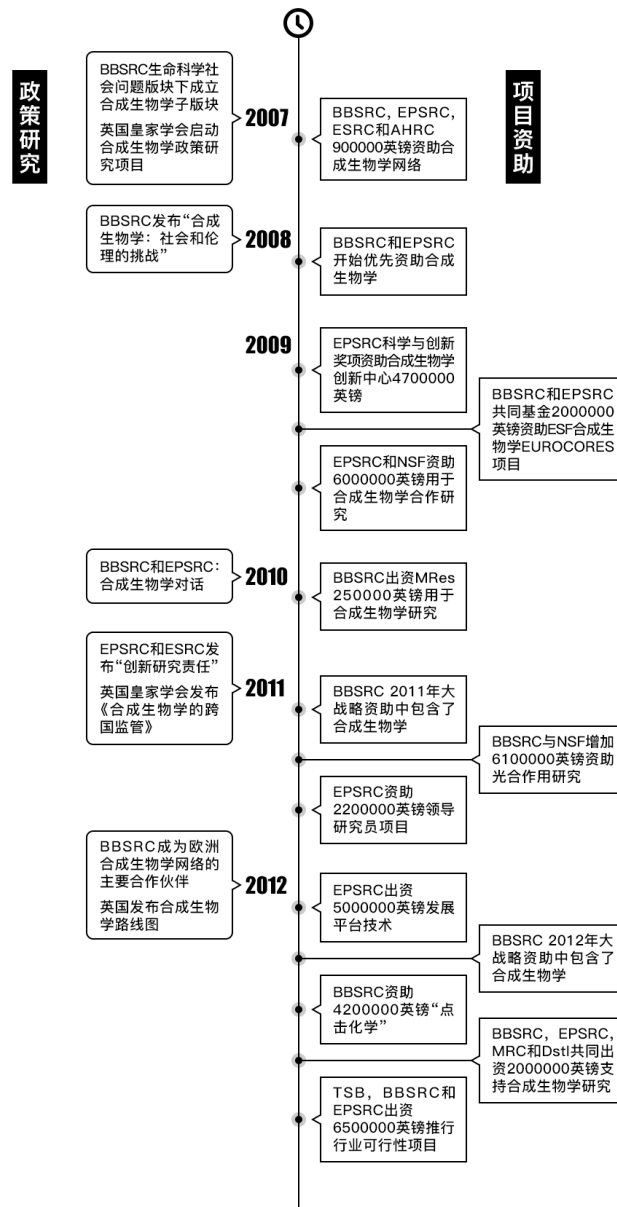


图1 英国合成生物学领域的科学研究与政策研究并行

Fig.1 UK supports scientific research and policy research in synthetic biology

合成生物学版块。2007—2011年,英国陆续投入近40 000 000英镑,用于支持建设合成生物学创新中心,开发平台技术,开展科学研究(如资助光合合成生物学研究),此外,研究理事会还积极与美国国家科学基金(National Science Foundation, NSF)合作,促进英美两国在合成生物学领域的科研合作和交流<sup>[2]</sup>。

与此同时, BBSRC与英国皇家学会开展了一系列的政策研究和公众对话。例如, BBSRC和EPSRC启动了合成生物学的对话项目<sup>[3]</sup>; EPSRC与ESRC开展“创新研究责任”的研究; 英国皇家学会进行了合成生物学政策研究项目并发布《合成生物学的跨国监管》报告, 提出要建立灵活、透明的监管模式<sup>[4]</sup>。此外, BBSRC还积极参与到欧洲合成生物学网络的建设中, 英国皇家学会也与美国国家科学院合作开展合成生物学相关的战略研讨会<sup>[5]</sup>。经过上述这些努力, 英国已经具有了合成生物学研究和应用所需的良好研究基础和发展环境。

## 2 以路线图发布为起点, 以国家战略作为驱动力

### 2.1 发布国家路线图, 全面布局合成生物学

英国前期在合成生物学领域的活动, 为其科学研究和商业化环境打下了坚实的基础。同时, 英国对合成生物学领域的经费投入、研究平台和基础设施建设、促进技术商业化应用等方面的支持力度也在不断加大。英国政府、产业界和学术界也都认可需要将国家现有研究优势充分发挥出来, 把握住该领域的发展机遇, 引领合成生物学研究和产业发展。基于这些考虑, 英国将合成生物学作为未来重点发展新兴技术予以高度重视, 并成立了合成生物学路线图协调小组, 开展路线图研究并制定发展路线图, 目的就是进一步明确英国合成生物学的发展愿景和目标, 确定实现这些目标所需开展的工作。2012年发布的《英国合成生物学路线图》, 重点围绕5个主题进行了分析, 包括基础科学和工程、继续开展负责任的研究和创新、面向商业应用进行技术开发、应用和市场以及国际合作, 这是未来英国发展合成生物学的重点。

在科学研究方面, 路线图提出了两个发展重点。首先, 合成生物学发展的重要驱动力之一就是学术机构的创新和多学科的融合, 因此, 英国当前的重点是建立并支持多学科研究中心以及加强合成生

物学人才的培养。这就需要建立一个泛英国的研究网络, 同时要加强对合成生物学技术能的培训, 尤其是本科生、研究生的跨学科教育, 在不同阶段制定不同的培训方案, 为英国合成生物学领域吸引和培养人才。其次, 作为两用研究技术的合成生物学, 其技术发展可能带来的风险具有不确定性, 为保证合成生物学技术的开发以对社会负责任的方式进行, 在研究和创新早期就使利益相关者、监管者和公众介入, 对合成生物学的健康发展至关重要。因此, 路线图明确提出了负责任的研究和创新的观念, 并鼓励研究和创新资助者和监管方的交流和对话。

在产业转化方面, 面向商业应用进行技术开发尤为重要。合成生物学核心技术以及支撑技术研究和市场发展迅速, 需要整合领先的研究者和产业创新者的力量, 整合商业化机会和科学潜力, 催生新的产品供应链。因此, 路线图提出借鉴硅谷等数字产业发展模式, 充分利用牛津大学、剑桥大学和帝国理工学院等大学优势, 同时, 建立多学科、覆盖全英国的网络。技术转化的最终目的是产业应用, 合成生物学是一个具有非常广泛应用前景的领域, 其未来市场也十分巨大。路线图的目标也是使英国从合成生物学快速应用中受益, 并且明确了英国需要关注的应用领域, 包括药物和医疗、精细和特殊化学品、能源、环境、传感、农业和食品等。

此外, 合成生物学在解决全球性问题方面的巨大潜力表明其未来应用市场一定是全球化的。英国需要充分意识到国际合作对合成生物学发展的重要作用, 并谋求英国在国际合作中的主导作用, 特别是在标准的制定和国际合作框架等方面。

### 2.2 及时制定战略计划, 更加聚焦产业转化

自2012年路线图发布以来, 英国合成生物学领域已经取得了显著的成果。作为该领域的政府战略协调机构, 英国合成生物学领导理事会(Synthetic Biology Leadership Council, SBLC)提出, 鉴于英国合成生物学的发展以及具有商业价值的潜在应用不断增加, 需要及时制定相关的战略计划, 在与路线图愿景保持一致的基础上, 重点提供创新渠道并加速应用的商业化<sup>[6]</sup>。因此, 英国合成生物学领导理事会(SBLC)在2016年2月发布了一份新的《2016年英国合成生物学战略计划》, 重点强调新兴创意的转化、应用的商品化以及全球市场部署。战略计划提出在英国已有的基础上, 建立一个“支撑管线→转化、投



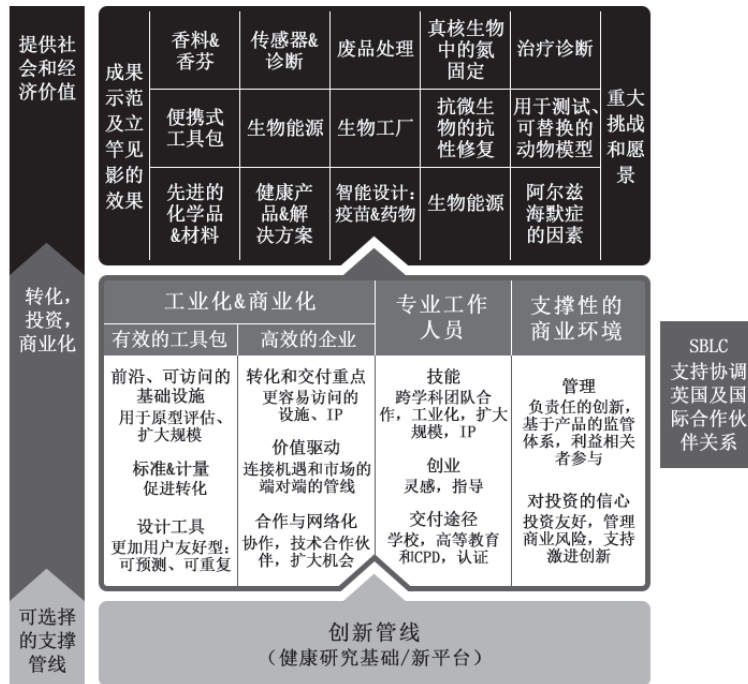


图2 英国战略计划提出的高效地促进合成生物学研究成果转化的国家体系

Fig.2 The next stage is to generate a highly productive system for supplying the biodesign innovation pipeline by UK synthetic biology strategic plan

资、商业化→提供价值”的高效系统(图2), 目的在于提供生物设计创新渠道, 满足需求并在短期和长期内都能转化为社会和经济效益, 到2030年建立价值100亿英镑的合成生物学平台技术产业。为实现这一目标, SBLC提出了5条建议和31项行动计划<sup>[7]</sup>。

新的战略计划重点都是围绕建立高效成果转化体系、推动合成生物学领域商业化进程开展的。首先, 通过对生物设计技术的投入和转化, 推动生物经济的增长。英国建立以风险投资为基础的竞争机制, 与产业界建立紧密联系, 通过更加灵活的规划和投入, 将优势前沿技术与商业需求、市场基于结合, 产生更大的市场价值。第二, 加强平台技术开发, 提高生产效率, 迎接未来更大的机遇。战略计划指出, 推动工程化、开发新软件、系统设计先进底盘、生物信息与智能设计等方面将是英国推进合成生物学研究成果产业转化的几大重要方向。第三, 通过教育和培训, 掌握生物设计所需的技能。英国研究理事要进一步加强高校与其他机构的合作, 开展多学科融合的学生培养项目, 建立相关教育基金和有关行业协会见习机制, 最大程度地促进行业发展和产-学-研融合。第四, 完善监管和治理体系, 满足产业与利益相关者的愿望和需求。英国合成生物学领导

理事会(SBLC)将成立包括部门-特定监管人员的工作小组, 在保证安全性和有效性的同时, 满足快速发展的工业部门的需求。

### 3 围绕战略计划目标, 营造合成生物学科科技创新环境

英国在合成生物学路线图计划颁布之后, 对合成生物学领域进行了一系列的资助与支持, 2009—2015年, 英国政府在合成生物学领域的总投资已经达3亿英镑。路线图中提出的5条研发与产业转化等方面的建议措施在不同程度上都取得了一定的进展和成效(表1)<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 取得了具有影响力的研究成果

路线图的实施以来, 英国在合成生物学领域的研究成果增长迅速, 2012年合成生物学领域论文量为440篇, 2018年已经增加到928篇, 论文量翻了一倍。其中英国医学研究委员会分子生物学实验室等机构人工合成了一种名为XNA的物质, 能像DNA一样存储遗传信息<sup>[9]</sup>, 实现遗传信息的传递。这项研究被认为是在“人造生命”道路上迈出了重要一步。随后, 研究人员利用“XNAs”的合成分子作为构建模块, 制备了“XNAzymes”, 它能引发简单的反应, 例如

表1 2012年英国政府路线图建议与取得的进展

Table 1 2012 UK government's roadmap recommendations and progress made

建议措施 Recommendations	取得的进展 Progress made
投资跨学科中心网络, 开发优质的英国合成生物学资源	英国政府投资72 000 000英镑用于建立6个跨学科的合成生物学研究中心
建立技术熟练、充满活力、资金充足的英国合成生物学社区	合成生物学社区由资助机构、英国政府、研究与知识传播组织、教育机构组成, 正在逐渐网络化, 促进跨学科互动。合成生物学特定利益集团(SB-SIG)支持这些互动
投资并促进技术负责任地推向市场	已经开发了负责任的研究和创新框架(RRI), 用于提高社会意识和公众接受度。英国创新和国防科技实验室比赛旨在支持研究成果的商品化
承担领导国际职责	强大的合成生物学社区为英国带来了良好的国际声誉并使其具有国际领导地位, 现有合作伙伴包括欧盟、美国、中国和新加坡
建立领导理事会	已经成立的合成生物学领导理事会(SBLC), 用于战略性监督英国合成生物学产业的发展。SBLC成立了管理小组, 负责向SBLC提供支持和建议, 鼓励以开放、自适应和咨询的方式在合成生物学生态系统内部进行管理

切割或缝合小片段RNA, 就像天然酶一样<sup>[10]</sup>。“扩展遗传密码”相关研究成果入选了《科学》杂志十大突破<sup>[11]</sup>。

在基础研究方面, 美、英等多国研究人员组成的科研小组利用计算机辅助设计技术, 成功构造了酿酒酵母染色体III, 尽管合成的仅仅是酿酒酵母16条染色体中最小的一条, 但这是通往构建一个完整的真核细胞生物基因组的关键一步<sup>[12]</sup>。布里斯托尔生物设计研究所开展了蛋白质笼的蛋白质自组装研究, 揭示了这些笼的自组装机制, 可望在材料科学和合成生物学领域广泛应用<sup>[13]</sup>。韦尔科姆基金会桑格研究所等机构对疟原虫基因功能做了有史以来最大规模的研究, 成功地将基因组缩小到了必需基因, 并确定了许多新的抗疟疾药物开发的潜在靶点<sup>[14]</sup>。国家物理实验室(National Physical Laboratory, NPL)和伦敦大学学院组设计了一种人工合成的病毒, 能够实现首次接触就可以有效杀死细菌<sup>[15]</sup>。

技术研发方面, 曼彻斯特大学制造了通过搬运其他分子完成指令任务的“分子机器人”, 这款尺寸为1/1 000 000毫米的微型机器人能利用它微小的机械臂移动和堆砌其他分子<sup>[16]</sup>。分子机器人的好处是体积小, 对原料的需求小, 可加速和改善药物研发。诺丁汉大学的合成生物学研究中心(Synthetic Biology Research Centre, SBRC)开发了高技术机器人平台, 可以使常用流程自动化, 包括质粒组装、细菌转化、菌落采集和筛选等, 可以利用细菌菌株和涡轮增压装置将废料转化成高价值的新型化学品及燃料<sup>[17]</sup>。帝国理工学院开发了一种无细胞系统: “天

然无细胞转录翻译系统”, 是首个无细胞系统半自动化平台<sup>[18]</sup>。该研究提供了一个半自动化框架, 将数学建模和实验结合在一起, 以探索使用无细胞合成生物学的新生物技术的应用。

在应用研究方面, 布里斯托大学通过异源表达和具有增强抗菌效果的半合成截短侧耳素衍生物生成, 并详细报道了截短侧耳素生物合成步骤的遗传特点<sup>[19]</sup>。研究人员创建了一个独特的新型抗生素生产曲霉平台, 并且平台也为其他强效抗生素开发和抗生素的化学修饰提供了新的途径。华威大学和萨里大学利用工程学原理, 突破性地改造了细菌, 让它们更适合生产药物<sup>[20]</sup>。伦敦帝国学院重新设计了面包酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)来制造非核糖体肽类抗生素——青霉素, 其在实验室研究中表现出抗链球菌的特性<sup>[21]</sup>。约翰英纳斯中心(John Innes Centre)与厄勒姆研究所(Earlham Institute)合作, 设计了一个利用金门组装(Golden Gate assembly)的基于合成生物学的工程战略, 研究人员将豆类中与固氮菌共生相关的50个基因转入到谷物基因组, 进而复制豆类的固氮作用<sup>[22]</sup>。帝国理工学院修改了葡萄糖苷酶, 使其能够在高温和离子溶液中起作用, 使植物生物质分解速度提高了30倍<sup>[23]</sup>, 该研究可以加速利用生物工程制造燃料、塑料、药品和化妆品等产品的过程。

### 3.2 建立优势互补的研究与教育网络

路线图促进了英国政府向合成生物学领域的投资。英国研究理事会(Research Councils UK)和创新英国(Innovate UK)在全国范围内建立了6个合成

生物学研究中心(SBRC)、3个博士培训中心(Centres for Doctoral Training, CDT, 即牛津、布里斯托尔和沃里克大学)以及1个创新和知识中心(Innovation and Knowledge Centre, IKC)。

英国建立的6个合成生物学研究中心, 包括了以生物分子设计和组装为主的布里斯托尔合成生物学研究中心(BrisSynBio)、以线路、细胞和系统等不同尺度的设计为主的沃里克整合合成生物学中心(WISB)、以工程微生物构建为主的诺丁汉大学中心、以精细与专用化学品研发为主的曼彻斯特大学合成生物学研究中心(SYNBIOCHEM)、以植物合成生物学技术开发为主的OpenPlant中心、以哺乳动物系统工具开发为主的爱丁堡大学中心, 加上以工程生物平台技术研发为主的帝国理工合成生物学和创新中心(CSynBi)及其产业转化中心(SynbiCITE), 构成了英国合成生物学领域的7大研究中心。另外, 英国的研究理事会共同制定的合成生物学促进增长计划(Synthetic Biology for Growth Programme, SBfG)<sup>[24]</sup>, 也在各个大学和科研机构建立了DNA合成铸造厂、DNA片段组装平台设施、合成生物学软件工具系统与测试开发平台等, 支撑科学研发的同时帮助培养英国的DNA合成产业。此外, 英国还有超过30所大学成立了大大小小的合成生物学研究中

心, 每个中心都各有特色且专业互补, 从而形成了覆盖合成生物设施、研发中心、产业转化及人才培养的全国性综合网络(图3)。

在打造网络化的研究中心的同时, 为了加强人才的培养, 英国成立了综合的合成生物学博士培训中心(SynBioCDT)<sup>[25]</sup>, 统一协调合成生物学领域的教育培训以及为博士生提供相关咨询, 并且各个大学也相继开设合成生物学相关的教育课程<sup>[26]</sup>, 例如, 曼彻斯特整合系统生物学中心的博士培训中心、牛津大学的系统生物学博士培训中心, 以及SBfG计划支持在牛津/布里斯托尔/沃里克的博士培训中心和伦敦大学学院设立有关合成生物学生物制造领域的培训等。以帝国理工学院的课程为例, 学校有针对合成生物学的本科及研究生课程。本科课程主要面向那些希望攻读生物化学或生物学学士学位或生物医学工程学士或硕士学位的本科生。在本科生的合成生物学课程中, 学生可以学到关于工程生物学背后的基础技术和理论以及正在应用合成生物学的现实世界的情况。课程内容包括介绍与合成生物学相关的道德和伦理问题以及实验分子生物学和生物建模的实践课程。课程还包含“小iGEM大赛”项目, 是一项为期两周的任务, 要求提出一个合成生物学想法, 并概述实现这一想法所需要的设计、建模、实

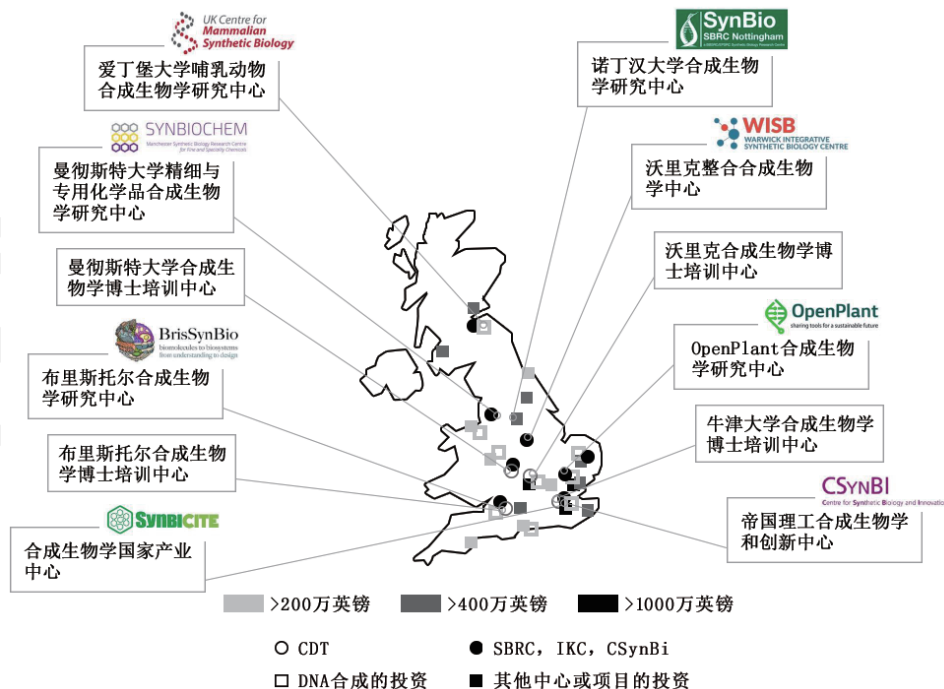


图3 英国合成生物学研究与教育网络

Fig.3 A nationwide network of synthetic biology centres of research and education in the UK



验工作和数据分析。此外,帝国理工学院的MRes课程则主要是针对系统与合成生物学研究所的硕士研究生,包括8个月的多学科研究项目,以及案例研究、实习和先进分子生物学、遗传学、合成生物学、生物物理学、生物工程、系统生物学、生理系统、先进成像技术和数据分析的教授课程,课程深度是为将来做博士课程或研究事业做准备<sup>[27]</sup>。

### 3.3 在研发核心区域形成开发和转化的优势产业

英国合成生物学战略将合成生物学作为促进英国生物经济发展的关键驱动力,因此,合成生物学技术和成果的产业转化和经济效益是其发展的重点。为此,英国在2013年建立了国家层面的产业转化中心(SynbiCITE)推动该领域的商业化进程,SynbiCITE负责监管英国合成生物学创业项目的发展,初创公司的成立,辅导项目、发展资金和创业培训课程能够激发新思路、促进技术的商业化<sup>[28]</sup>;此外,英国还积极参与制定该领域的标准和指南,为其成果产业化争取话语权;再次,英国政府的加速器项目,以及通过彩虹种子基金的投资,都为合成生物学领域内的初创公司快速发展提供了支持和保障。

健全的工程原理和时间框架是成果转化和工业生产的基础,其中框架的核心要素就包括了及时制定合适的标准。近年来,英国Flowers联盟(由5所英国大学组成:帝国理工学院、剑桥大学、爱丁堡大学、国王大学和纽卡斯尔大学)也在开发新型系统、数据挖掘、CAD标准(SBOL和DICOM-SB)和建模、表征程序(BioParts、底盘等)和DNA组装等<sup>[29]</sup>。此外,创新英国在2015年出资支持英国标准协会(British Standards Institution, BSI)制定了有关合成生物学标准使用的第一份指南<sup>[30]</sup>。

英国合成生物学初创企业的快速发展,也受益于英国加速器项目。截止到2016年,全英国范围内有163家加速器公司,其中仅2016年就新增45家。伦敦地区有25家加速器公司,为创业公司提供10~12周的培训、指导以及接触投资者的机会。部分加速器公司是非营利性的,多数加速器公司会要求获得初创公司的少部分股权。加速器与孵化器不同,孵化器为高校的衍生企业(技术转化型)提供办公区域、实验区域、培训及网络,收取租金作为回报。加速器模型则致力于为快速成长的非技术转化型初创公司提供服务,满足其需求。

目前,英国合成生物学初创公司发展迅猛,主

要集中在英格兰东南部、东部及伦敦地区,并且在牛津大学、剑桥大学、伦敦大学在伦敦及周边地区已经形成了合成生物学集中的核心区域。公司数量上仅次于美国,占整个欧洲合成生物学初创公司的一半以上<sup>[31]</sup>。2000—2016年间,英国成立的合成生物学初创公司超过146家,平均每年有7家新成立的公司,公司数量平均每五年翻倍一次。其中,2012—2016年非技术转化型公司数量是2000—2006年的两倍(非技术转化型企业通常是由高校中的教职员工或学生所建立,但是未被许可使用高校所研发的技术,高校企业项目的资助机构鼓励或是直接支持的企业;技术转化型初创公司是指高校或研究院所的新型技术被批准应用于新公司,高校会从公司获益,通常是以种子基金及孵化器的形式)。自2010年起,英国合成生物学初创公司筹资已经达到6.2亿英镑,其中公共投资占了56 000 000英镑<sup>[32]</sup>。这些公司主要分为两大领域(图4)。一类是以核心技术与服务为主的初创公司,包括了DNA合成、设计与构建的专业软件的开发以及其他技术包括计算机辅助设计、自动化操作系统、DNA组分的标准化等。例如,Desktop Genetics已经研发出用于CRISPR基因编辑的平台<sup>[33]</sup>,LabGenius设计和制造了用于抗体工程、新型生物催化剂开发、功能性核酸设计的合成DNA库<sup>[34]</sup>。另一类是以应用研发为主的初创公司,主要包括新药开发与疾病诊断、化学试剂研发、农业科技的拓展等方面的应用。例如,4D Pharma Research正在研发治疗炎症疾病的微生物工程化产品<sup>[35]</sup>,Oxford Biotrans研发产生高价值化学药品的酶学加工工程技术<sup>[36]</sup>,Oxitec研发基因改造的昆虫控制疾病或作物害虫的传播<sup>[37]</sup>。

目前,英国合成生物学产业化发展已经初见成效。因此,SynbiCITE开始调整和更新目标,进一步升级战略规划,提出到2023年的五年战略<sup>[38]</sup>。新战略将推出SynbiCITE 2.0,扩展英国合成生物学创新和学术生态系统的覆盖范围,并创建高度互联的创新集群。新战略提出了主要发展方向,首先,打造SynbiCITE 2.0,并将在未来一年内建成一个新的合成生物学设施。第二,建立英国合成生物学创新集群,将与布里斯托尔、爱丁堡和曼彻斯特的合成生物学研究中心(SBRC)建立新的合作伙伴关系,并与其他所有的SBRCs和其他合成生物学中心紧密互动,以SynbiCITE 2.0为核心进一步利用高值技术和



图4 英国合成生物学初创公司分类

Fig.4 Spotlight on UK synthetic biology start-ups

技能促进经济增长。第三,建立英国投资者联盟和行业俱乐部。投资者联盟将提供一个正式的网络,汇集来自不同公司和项目的专业投资者,而行业俱乐部将为来自英国大型公司的从业人员提供论坛。

### 3.4 建立起负责任的研究和创新体系,积极进行公众对话和交流

不管是2012年的路线图还是2016年的战略规划,都强调了负责任的研究和创新的重要性。基础科学研究成果的商业转化,需要与之相称的监管体系,包括了政府政策、标准制定、公众和利益相关者的参与和对话等。英国合成生物学领导理事会(SBLC)专门成立了一个管理小组(Governance Sub-Group, GSG),开设相关论坛,探讨影响英国合成生物学发展的相关政策以及政策研究过程。将负责任的研究和创新(Responsible Research and Innovation, RRI)纳入到合成生物学领域中,对其未来发展和商业化有重要意义。RRI框架<sup>[39]</sup>使其贯穿于项目资助、研究活动、技能培训等,形成了与整个行业发展更广泛的价值体系相一致的批判性思维方式。英国每一个合成生物学研究中心都有参与RRI问题评估的社会科学家,这些RRI小组在整个英国形成网络,提供更好的实践和咨询。

此外,英国还积极开展合成生物学公众对话项目,为该领域的发展提供及时的意见反馈。对于新兴技术,不同群体的态度可能是不同的,但是接受与

否并不是事先能决定的,一项新技术创新的路径和其可能带来的潜在社会影响,决定了技术被公众接受的程度。调查显示,英国公众对合成生物学应用态度是积极的,但是也是有条件的<sup>[3]</sup>。如果想让更多的人接受,就必须通过技术的示范让公众认识到:合成生物学的发展为带动就业、改善生活和促进经济发展,提供新的产品、工艺和服务,进而使公众受益;发展合成生物学,能够找出更有效、安全或便宜的解决问题的方案。社会科学、人文科学等方面的研究者的介入,可以帮助开展这些工作。英国的合成生物学研究网络中,有大量的社会学者、艺术家、哲学家和法律学者;建立在帝国理工的合成生物学和创新中心(CSynBI),同时也是科学家、工程师和BIOS生命科学研究团队(BIOS research group)之间的联合体。

## 4 启示

英国将合成生物学作为未来着力发展的新兴技术和产业之一,从其在该领域的快速发展可以看出,推动合成生物学发展需要构建与会聚研究能力相适应的生态系统,这样的“会聚”生态系统涉及科研、教育、管理、合作以及资助等各方面。本文将英国合成生物学政策规划的经验总结为以下几点,希望为我国的合成生物学布局和发展提供借鉴和参考。



#### 4.1 深入的政策研究与公众对话

英国合成生物学的快速发展, 与政府的战略引导和大力支持密不可分。英国围绕其国家需求, 同时开展科学研究与政策研究, 不仅为国家路线图的制定奠定了基础, 也为后续各项政策和项目的实施提供了良好的保障。

目前, 合成生物学科技发展路线图是一种前瞻规划的形式。英国的路线图研究吸收了来自产业、学术以及政府各方面的力量, 通过对领域的发展及其趋势、本国的优势和目标等多个方面的深入分析, 提出了英国自身在该领域未来发展的重点以及政府应该支持的方向和措施。同时, 政府及时引入公众对话和相关科普活动, 了解民众对合成生物学的认知和可接受性, 以及相应的科普需求, 营造公共理解与科学传播的理性文化氛围, 对促进合成生物学科技及其产业走向社会应用起到了重要的积极作用。

#### 4.2 网络化的平台和基础设施

合成生物学的工程化平台和基础设施是实现“自下而上”工程化设计思路的基本保障。英国围绕工程化平台的体制与机制创新, 值得深入研究与思考, 为充分发挥我国重大科技基础设施对合成生物学研究、创新与产业的巨大推动作用提供重要借鉴。

英国通过政府的顶层设计、相关资源保障、长期支持等各个方面, 保证其平台和设施可以充分发挥作用。一方面, 英国政府通过建立合成生物学研究中心和博士培训中心, 形成全国范围内的研究与教育基础设施网络, 这些中心互补优势、聚集资源和培育人才。国家级的基础设施不仅能解决学科会聚融合的问题, 还能更有效地发挥研发机构、资助机构和监管机构的作用。另一方面, 英国通过SBfG计划建设了DNA合成铸造厂、DNA片段组装平台设施、合成生物学软件工具系统与测试开发平台等通用性和专业性平台, 不仅提供了技术和工具支持, 还通过设备与研究中心、科研人员等形成建立联系网, 促进了合成生物学新技术的开发。英国这种从政府顶层设计到全国布局的研究网络, 不仅极大促进了研究和技术开发, 也促进了其合成生物学创新和产业文化的形成。

#### 4.3 全套的产业转化模式

英国合成生物学产业的快速发展不仅有国家和政府部门经费的支持和政策引导, 更是充分调动了产学研各方的积极性, 形成了有科技创造活力、

产业转化能力和社会经济效益的创新价值链。

首先, 英国建立了产业转化中心, 在国家层面统一协调学术研究成果的转化, 并提供持续的经济支持和必要的技能培训。同时, 为国内合成生物学领域的创业项目提供资源, 通过政策激励鼓励企业。第二, 英国非常重视其在合成生物学标准和指南制定中的话语权。合成生物学产品研发与产业应用的推进, 相关元器件和技术服务标准的建立至关重要, 英国从路线图开始, 就积极开展有关技术/科学标准制定的研究, 并参与到国际标准制定的活动中。英国对技术和产品研发过程中标准和指南的建立与推广, 对产业转化起到了极大的促进作用。再次, 英国初创公司的快速发展, 与国家的加速器项目的大力支持密不可分。加速器为快速成长的非技术转化型公司帮助公司在创业初期完善技术, 提供接触投资者的机会等, 推动新产品早日进入市场。

#### 参考文献 (References)

- 1 赵国屏. 合成生物学: 开启生命科学“会聚”研究新时代. 中国科学院院刊 2018; 33(11): 1135-49.
- 2 Group USBRC. A synthetic biology roadmap for the UK. <http://www.rcuk.ac.uk/publications/reports/syntheticbiologyroadmap/2012>.
- 3 BBSRC, EPSRC, Sciencewise. Synthetic biology dialogue. <https://bbsrc.ukri.org/documents/1006-synthetic-biology-dialogue-pdf/> 2010.
- 4 The Transnational Governance of Synthetic Biology <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/synthetic-biology/transnational-governance/> 2011.
- 5 Bland J. Six academies' symposium: engineering principles. <http://blogs.royalsociety.org/in-verba/2011/04/15/six-academies-synthetic-biology-symposium-engineering-principles/> 2011.
- 6 EPSRC. Workshop to refresh the UK roadmap for Synthetic Biology. <https://connect.innovateuk.org/web/synthetic-biology-special-interest-group/2016-uk-synbio-strategic-plan> 2015.
- 7 UK Synthetic Biology Strategic Plan 2016. <https://connect.innovateuk.org/web/synthetic-biology-special-interest-group/2016-uk-synbio-strategic-plan> 2016.
- 8 Parks S, Ioana G, Louise L, Stuart P, Joanna C, Molly MJ. Developing standards to support the synthetic biology value chain. RAND Corporation. [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR1527.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1527.html) 2017.
- 9 Pinheiro VB, Taylor AI, Cozens C, Abramov M, Renders M, Zhang S, *et al.* Synthetic genetic polymers capable of heredity and evolution. *Science* 2012; 336(6079): 341-4.
- 10 Taylor AI, Pinheiro VB, Smola MJ, Morgunov AS, Peak-Chew S, Cozens C, *et al.* Catalysts from synthetic genetic polymers. *Nature* 2015; 518(7539): 427-30.
- 11 Service RF. Giving life a bigger genetic alphabet. *Science* 2014; 346(6216): 1448-9.

- 12 Annaluru N, Muller H, Mitchell LA, Ramalingam S, Stracquadio G, Richardson SM, *et al.* Total synthesis of a functional designer eukaryotic chromosome. *Science* 2014; 344(6179): 55-8.
- 13 Mosayebi M, Shoemark DK, Fletcher JM, Sessions RB, Linden N, Woolfson DN, *et al.* Beyond icosahedral symmetry in packings of proteins in spherical shells. *Pro Natl Acad Sci USA* 2017; 114(34): 9014-9.
- 14 Bushell E, Gomes AR, Sanderson T, Anar B, Girling G, Herd C, *et al.* Functional profiling of a plasmodium genome reveals an abundance of essential genes. *Cell* 2017; 170(2): 260.
- 15 De Santis E, Alkassam H, Lamarre B, Faruqui N, Bella A, Noble JE, *et al.* Antimicrobial peptide capsids of *de novo* design. *Nat Commun* 2017; 8.
- 16 Kassem S, Lee ATL, Leigh DA, Marcos V, Palmer LI, Pisano S. Stereodivergent synthesis with a programmable molecular machine. *Nature* 2017; 549(7672): 374-8.
- 17 Minton N. Robots reinvent the wheel by turning waste material into fuel. 2017.
- 18 Moore SJ, MacDonald JT, Wienecke S, Ishwarbhai A, Tsipa A, Aw R, *et al.* Rapid acquisition and model-based analysis of cell-free transcription-translation reactions from nonmodel bacteria. *Pro Natl Acad Sci USA* 2018; 115(19): E4340-E9.
- 19 Alberti F, Khairudin K, Venegas ER, Davies JA, Hayes PM, Willis CL, *et al.* Heterologous expression reveals the biosynthesis of the antibiotic pleuromutilin and generates bioactive semi-synthetic derivatives. *Nat Commun* 2017; 8(1): 1831.
- 20 Darlington APS, Kim J, Jimenez JI, Bates DG. Dynamic allocation of orthogonal ribosomes facilitates uncoupling of co-expressed genes. *Nat Commun* 2018; 9(1): 695.
- 21 Awan AR, Blount BA, Bell DJ, Shaw WM, Ho JCH, McKiernan RM, *et al.* Biosynthesis of the antibiotic nonribosomal peptide penicillin in baker's yeast. *Nat Commun* 2017; 8: 15202.
- 22 Leech J. Enhancing crop sustainability using automated synthetic biology methodology 2017.
- 23 Brochado AR, Telzerow A, Bobonis J, Banzhaf M, Mateus A, Selkrig J, *et al.* Species-specific activity of antibacterial drug combinations. *Nature* 2018; 559(7713): 259.
- 24 BBSRC. Synthetic Biology for Growth Programme. <https://bbsrc.ukri.org/research/programmes-networks/synthetic-biology-growth-programme/>.
- 25 SynBioCDT: Synthetic Biology Centre for Doctoral Training. <http://www.synbio-cdt.ac.uk>.
- 26 This is an active list of schools and labs that support graduate study in synthetic biology. [https://openwetware.org/wiki/Synthetic\\_Biology:Graduate](https://openwetware.org/wiki/Synthetic_Biology:Graduate).
- 27 OECD. Emerging Policy issues in synthetic biology. OECD Publishing 2014. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208421-en>
- 28 SynbiCITE. <http://www.synbicite.com/about-us/>.
- 29 Flowers Consortium. [http://www.synbiuk.org/?page\\_id=2712](http://www.synbiuk.org/?page_id=2712).
- 30 Institution BS. Use of standards for digital biological information in the design, construction and description of a synthetic biological system. <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=00000000030303883,2015>.
- 31 Clarkeabcd RIK. Synthetic biology in the UK: an outline of plans and progress. *Synth Syst Biotechnol* 2016; 1(4): 243-57.
- 32 Kitney PF. UK Synthetic Biology Start-up Survey. [http://www.synbicite.com/media/uploads/files/UK\\_Synthetic\\_Biology\\_Start-up\\_Survey\\_2017\\_r7iqWsp.pdf](http://www.synbicite.com/media/uploads/files/UK_Synthetic_Biology_Start-up_Survey_2017_r7iqWsp.pdf) 2017.
- 33 Cumbers J. Desktop Genetics Launches New Gene Editing Platform. <https://synbiobeta.com/desktop-genetics-gene-editing-platform/2015>.
- 34 LabGenius. <https://www.labgeni.us/>.
- 35 4D Pharma Research. <https://www.4dpharmapl.com/en/developing-science>.
- 36 Oxford Biotrans. <http://oxfordbiotrans.com/about-us/>.
- 37 Oxitec. <http://www.oxitec.com/>.
- 38 SynbiCITE. SynbiCITE launches new five-year strategy. <http://www.synbicite.com/news-events/2018/oct/2/synbicite-launches-new-five-year-strategy/> 2018.
- 39 EPSRC. Framework for Responsible Innovation. <https://epsrc.ukri.org/research/framework/> 2013.