

DOI:10.12405/j.issn.2097-1486.2024.04.005

从机器隐喻到自组织范式：合成生物的本体论探赜

刘永安

南京师范大学泰州学院, 江苏 泰州 225300

摘要: 机器隐喻对合成生物做出了一种机器本体论的设定, 机器本体论既不能揭示合成生物学的技术本质也不能充分反映合成生物在本体论上的新颖性。作为“技术自然化”的先锋代表, 合成生物学的技术本质体现在对生物自组织能力的利用。合成生物技术展现出技术与自然的融合趋向, 其造物合成生物兼具人工(机器)和自然(生物)的双重本体特征, 合成生物在本体论上应被概念化为一种更具包容性的混合本体。混合本体论不仅为反思机器本体论的局限性提供了一种批判性的视角, 同时也使我们能在新的维度上对合成生物学未来的技术潜力形成新的认识。

关键词: 合成生物; 机器隐喻; 自组织; 技术自然化; 混合本体论

中图分类号: B016

文献标志码: A

文章编号: 2097-1486(2024)04-0353-08

From machine metaphor to self-organizing paradigm: exploring the ontology of synthetic organisms

LIU Yong'an

School of Taizhou, Nanjing Normal University, Taizhou 225300, China

Abstract: The machine metaphor has set a machine ontology for synthetic organisms. However, the machine ontology can neither reveal the technical essence of synthetic biology nor fully reflect the ontological novelty of synthetic organisms. As a pioneer representative of “technology naturalized”, the technical essence of synthetic biology lies in its utilization of biological self-organizing capabilities. Synthetic biotechnology shows an integration of technology and nature. Its product, synthetic organisms, exhibits dual ontological characteristics, being both artificial (machine) and natural (biological). Ontologically, synthetic organisms should be conceptualized as a more inclusive hybrid ontology. This hybrid ontology not only provides a critical perspective of reflecting on the limitations of machine ontology, but also allows us to develop a new understanding of the future technological potential of synthetic biology from a novel dimension.

Key words: synthetic organisms; machine metaphor; self-organizing; technology naturalized; hybrid ontology

0 引言

合成生物学主要是作为一种应用科学或生物工程技术发展起来的。尽管目前其主要的关注点并不在于为合成生物的本体提供一种形而上学的解释, 但就其目的而言, 它旨在设计、制造和生成新的生命形式, 而这种合成生命超出了自然(生物)-人工(机器)二元本体的惯常分析框架, 合成生物学正在有意

无意地催生和创造一个额外的、新颖的“第三”本体论范畴^[1], 在此意义上, 合成生物技术是能带来本体变革的一种“本体技术”^[2]。合成生物学带来的人工合成生命形式的快速增长促使我们对这种全新的类别进行本体论的思考, 这不仅是因为合成生物的本体论认识直接关乎合成生命的理解, 而且还会对合成生物学的研究和实践方向产生潜在的影响。因此, 批判性地揭示和反思合成生物学中所隐含的合

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJAZH071)

收稿日期: 2024-11-08; **修回日期:** 2024-12-07

成生物的本体论假设,并进一步地对合成生物的本体类型予以确认就显得尤为必要。

1 机器隐喻与合成生物的机器本体假设

1.1 合成生物学中的机器隐喻

合成生物学中存在一种对合成生物的机器隐喻,机器隐喻与合成生物学的工程学理解密切相关。在这种理解中,“合成生物学是生物学的工程:合成复杂的、基于生物学的(或受其启发的)系统。这种工程学观点可以应用于生物结构的各个层次,从本质上讲,合成生物学将能以合理和系统的方式设计‘生物系统’”^[3]。这与普勒(Alfred Pühler)等在《合成生物学》一书中将合成生物学称为“一门新工程科学的诞生”用意相近^[4]。在此种理解中,合成生物学并不着意于自然的生物学解释,而重在人工生物系统的有意设计。克拉克(Lionel Clarke)和基特尼(Richard Kitney)就指出“合成生物学的核心是生物设计,即应用模块化、标准化和特性化/抽象化的工程原则,提高对生物系统进行编程和构建的实际能力,以产生由人类设计的具有可预测特性和功能的特定产出”^[5]。与工程学思维相应的是,合成生物学的研究常常借用机器的类比作为概念透镜来描述、解释合成生物以及细胞内和细胞间的分子过程。譬如,单细胞生物被称为“基因工程机器”,细胞内分子过程被称为“遗传回路”,基因工程生物则被称为“平台生物”等等^[6]。可见,虽然新兴的合成生物学并未对其研究对象的本体做出充分、明确地阐述,但从合成生物学所遵循的模块化和标准化的工程设计原则和方法,以及合成生物学当中比比皆是的机器类比的定义、概念化的用语来看,合成生物学中隐含着一种关于合成生物的机器本体论隐喻,这一隐喻对合成生物做出了以下几方面的本体论假设。

1.2 合成生物的机器本体假设

1.2.1 合成生物是具有生产功能的“细胞工厂”

合成生物学可以通过改变微生物的自然代谢以产生未改变状态下不同的代谢物,这些新的代谢物可以满足人类对于食物、药物、材料和燃料等多方面的需求。例如合成胰岛素,自然界中没有细菌能自己制造胰岛素。然而,得益于合成生物学对代谢工程的应用,转基因细菌现已成为全球胰岛素的主要生产者^[7]。与此类似,许多合成生物学解决方案都是通过改造细胞代谢系统来产生所需的产物。从这个意义上讲,生物细胞在代谢工程的干预下就具有了类似于工厂的生产性功能,尼尔森(Jens Nielsen)和

基斯林(Jay D. Keasling)将生物代谢过程经过基因改造以适应人类需要的微生物称为“细胞工厂”^[8]。在以工业生产语言表述的“细胞工厂”隐喻中,细胞被看成具有工业用途和高产值的生产容器,微生物的新陈代谢被简化为其生产功能,就像是将其简化为一种设备。新陈代谢的生产功能就像机器或工厂的功能一样,可以被用来实现高效和经济可行的生产,从而以精确、高效的方式满足人类的需求。

1.2.2 合成生物是基于模块化的复合体

合成生物学的模块化设计理念把合成生物系统看成由不同模块组成的整体。“合成生物学将物质转化为标准化的构建模块,将复杂多变的细胞事件转化为有限数量的受控过程,以创造新的功能系统”^[9]。模块化的设计可以提高合成生物系统的设计效率和准确性,并方便系统进行扩展、迭代和优化。在模块化理念的驱使下,代谢工程的重要目标之一是利用标准化的生物部件设计和构建合成生物整体。为了实现合成的目标,有些研究者致力于开发含有最小基因组的“最小细胞”,这样的最小基因组可用作“底盘”宿主细胞,通过添加、导入天然或人工基因片段对其进行功能扩展或改造。也有一些研究人员尝试创造功能性的标准化生物组件,即在合成生物学中被广泛地称之为的“生物砖”,以便为生物工程师建立一个人工合成生物的“工具箱”。基于这种组合观点以及生物代谢模块化结构的相关假设,合成生物就像传统的机器一样可以被视为由可分离的部分或单元组成的复合体。这一复合体设想旨在通过减少合成系统可能与环境之间“意外”的相互作用,使微生物更加“工业化”。

1.2.3 合成生物被认为是一定程度上可控的

控制和优化代谢途径是合成生物工程学的核心目标之一。迄今为止代谢控制理论已经开发出了多种复杂的控制工具,譬如基于机器学习的代谢建模、聚类规则间隔短回文重复序列(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, CRISPR)衍生的合成生物学工具和合成遗传回路等等^[10]。这些控制手段和方式已被广泛用于控制微生物的代谢、操纵基因表达和构建生物生产的合成途径。当然,控制的实现也离不开对环境因素的考虑,因为环境影响可能会阻碍工程师设计高效、可预测合成产品的能力,以及控制微生物新陈代谢行为的能力。出于这些原因,工程师们设置了特殊的实验条件来控制细胞的运行条件,以减少破坏性的环境影响。这在一定程度上会导致微生物与环境的隔离,合成生

物系统有可能被视为是孤立的输入-输出模型。合成生物学领域出现的诸多新颖的合成生物具有有别于自然生物的精确、特定的能力,它们的功能性、专业化和可预测性程度更高。合成生物的这些人工化特征是人类对细胞的代谢过程和环境加以有意控制的结果。

2 自组织范式与合成生物的生物本体特征

2.1 合成生物学中的自组织范式

机器本体论隐喻在某种程度上有助于寻找和确定细胞内分子过程的可控因素,对生物体新陈代谢规律的工程学研究也有助于开发具有宝贵新特性的单细胞生物。在技术实践中,这种策略也确实在实现有价值的靶向合成生物方面取得了某些进展和突破。但是机器隐喻只是一种隐喻,它在突出合成生物体非自然的人工化特征的同时,忽略或淡化了合成生物体的生物性特征。事实上,除机器本体论隐喻外,合成生物学中还存在另外一种以自组织为基础的研究范式。这一范式基于合成生物学与生物学的亲缘关系,合成生物学固然不能被简单或狭隘地理解为是生物学的一门新的分支学科,但人工化的合成生物依然具有生物业已揭示的生物的本质特性,即自组织特性。自组织是指系统自发实现更高秩序状态的自然过程,生物体具有这种自组织的特性。“生物体是自我生成的——它是它自身的驱动力量”“生物体的目的是形成它本身,它成为它自己的目的”^[11]。自组织范式认为合成生物学正是看重并利用了生物体的这一特性。施密特(Jan C. Schmidt)就主张在自组织的基础上理解合成生物学。他认为“‘从合成生物学’区别于近期其他技术科学趋势的本质和特征来看,利用和引导自组织——包括引发复杂动态现象的能力——似乎可被视为赋予这一时髦标签实质意义的核心理念。”他言简意赅地指出“合成生物学利用或旨在利用自组织能力达到技术的目的”^[12],与此类似的主张在合成生物学中普遍存在。根据波蒂奇(Alain Pottage)和谢尔曼(Brad G. Sherman)的观点,合成生物学的基本思想是“把生物体变成制造品”,并使其“自我生产”^[13]。波拉克(Jackson Pollock)将自组织作为其设计先进生物材料愿景的核心,他说:“我们必须首先通过发现和利用自然界中自动的自组织原则来解放设计”^[14]。诺德曼(Alfred Nordmann)认为合成生物学领域正在出现一种对技术的新理解,“工程学试图利用自组织的自然过程产生令人惊讶的特性”^[2]。自组织范

式将内在动力、描述的不可还原性、自组织或涌现现象的不可预测性归结为自组织系统的标准特性^[12]。这一范式将自组织和自生产视为合成生物学技术融合理想的内核,其出发点是将合成生物在本体论上作为新陈代谢的生命形式加以考虑,它更看重和强调是被机器本体论所淡化或掩盖的合成生物所具有的生物本体特征。

2.2 合成生物的生物本体特征

2.2.1 合成生物具备生长和繁衍的能力

亚里士多德指出:“一切生物,凭这原始属性(营养功能)而得有生命”^{[15]90},“营养机能是人类以外所有其他一切生物所通备”^{[15]96},意即靠营养生长和维持自身的能力是所有生物都具有的,同时也是区分生物和无生命事物最基本的能力。康德将有机物拥有的这种能力称为“形成力”^{[16]171}。当然亚里士多德和康德对生物有机体本体特征的论述是以它们的自然存在为前提的,但正如泽普(Anna D. Zemp)所言:“生长繁荣与自然联系在一起并不意味着自然是繁荣的必要条件。因为合成生物也会繁殖”^[17]。施夫特(Pablo Schyfter)同样认为“合成生物学产品不完全符合技术人工制品的标准,表现出人工制品所不具备的自我再生等特征”^[18]。合成生物的生物自主性虽然在人工的干预下有所弱化,但是合成生物仍然具有通过持续的营养代谢和各部分的不断再生来维持自身的生长和繁衍的能力,这正是合成生物学能够对新陈代谢进行干预和对自组织、自生产加以利用的生物性前提。合成生物的这一生物特性不仅使其具有满足人类特定目的的工具价值,同时也使其具有满足自身需要的内在价值。泰勒(Paul W. Taylor)用“生命目的论中心”这一术语来描述所有生物都在努力维护自身的存在并追求自身的利益^[19]。生物体的这种独立于人类目标的内在目的性和利益,合成生物体同样也具有。因此,即使有关的生物是人工合成的,也总是有可能区分它作为生物的利益和它作为我们功能承担者的工具性利益,这一点在机器和其他标准人工制品中并不适用。

2.2.2 合成生物是与环境互动的开放系统

生物体通过新陈代谢进行自我构成、组织、维护和修复,而生物代谢需要在与环境的互动中才是可能的。任何生物体都需要新陈代谢来与环境交换物质、能量和信息以维持自身的生长繁衍,这是生物体自组织、自生产得以可能的基础,在这一方面,合成生物也概莫能外。虽然在研究和实验阶段,合成生物的环境条件被严格控制,但即便如此也不能阻断

合成生物对外在条件和环境的依赖。比如在细胞培养肉的制造过程中,要把肌肉干细胞培养成肌肉前体细胞就需要人工为之提供富含营养成分的营养液。不仅如此,从合成生物学远大的技术理想来看,合成生物要在实际的应用场景中发挥作用,也要考虑其对环境条件的反应和适应性问题。譬如生物工程技术可以在实验室条件下将多种微生物的产生降解氨基酸功能的基因从细胞中分离出来组装到一个细胞中,制造出集多种微生物降解性功能于一身、以降解多种化合物的菌株,但是如果要将这种菌株作为工程菌用于治理海洋石油泄漏,其对海洋环境的反应和适应性问题就是需要进一步考虑的问题^[20]。因此,无论是从生长繁衍还是从实用的角度来看都不能割裂合成生物与环境的关联。合成生物只有在与环境的动态的交换中才能实现再生和自生产,而且也只有在特异性的开放性环境中,合成生物才能形成对环境的反应和适应性问题。因此,合成生物作为一种代谢系统理应在本体论的层面被描述和设定为一个开放的系统,而不是一个封闭的系统。

2.2.3 合成生物具有演化性

传统上人们认为生物物种是在自然选择的进化过程中产生的,随着新颖的人工合成生物的出现,这一自然进化范式将被补充。合成生物是经过人工设计产生的,而且在某些功能方面还具有适应性优势。马科维(Olivia Macovei)据此认为合成生物学“推翻了基于随机突变和自然选择的纯达尔文进化论的观点,合成生物学以合成进化论取代自然进化论,成为一门后达尔文主义科学”^[21]。尽管如此,合成生物源起的非进化性并未否定它们的可进化性以及进化的复杂性。合成生物学的目标是设计和控制活细胞,但合成生物工程的实践证明,合成生物学家的尝试往往因生物基质的复杂性而受挫,因为生物基质会适应性变异并对环境做出反应。例如,有人建议将产生毒素的基因片段植入经过基因改造的生物体中。在正常情况下,基因受到抑制不会表达毒素。如果观察到合成生物以不正常的方式增殖或离开指定的宿主环境,就可以激活基因片段产生毒素从而导致微生物死亡。然而经验表明,随着时间的推移,这些“自杀基因”很容易发生适应性突变,从而无法实现设计最初预想的功能^[6]。由此可见,合成生物以及制造它们基质的进化特性都会对合成生物工程产生影响。在合成生物工程的实践中,“最理性、最‘纯粹’的工程学,也依赖于设计、构建、修补和改进的迭代过程”,合成生物不能通过合理设计就能简单

地被制造,而只能通过不断地迭代以实现对合成生物的“矫正性进化”^[22],合理设计即使成功也需要多次反复地重建和重新设计。总之,虽然某些代谢过程可以通过基因编辑暂时被引导到特定的方向,但控制合成生物的元代谢系统是不现实的,合成生物项目无论使用何种方法都不能完全回避和绕开合成生物能够自演化这一本体论事实。

3 合成生物混合本体的确立及其意义

3.1 合成生物混合本体的确立

在合成生物学的技术实践中,机器隐喻和自组织范式从不同侧面对合成生物的本体做出了某种预设。在机器本体论假设中,合成生物被视为是基于人类目的预先设计的产物,它是人工制造的高效、稳定的生产容器,它可以通过还原论的合成方法予以构造,其过程和结果至少在原则上被认为是可以被预测和控制的。机器隐喻对合成生物的本体归类并未跳出自然(生物)-人工(机器)二分法的藩篱,如果只在类机器的层面理解合成生物,合成生物学的新颖性就会被视而不见,其在本体论和技术上所实现的变革和突破就不能得到很好的揭示。相较而言,合成生物学的自组织范式更能反映合成生物学的技术本质,合成生物学利用自组织和自生产创造人工生物宣告了一种新型技术的出现。与以往的人工制品的生成完全依赖于外在的动力不同,合成生物技术在很大程度上依赖于人工生物自身再生的内在动力,“自组织技术的内在动力(即行动、成长和变化)使得很难在现象学意义上在人工和自然之间划出一条分界线:自然和技术似乎无法区分”^[12]。合成生物学颠覆了我们对技术的固有认知,合成生物对制造对象的生物自组织能力的借助使得技术具有了类似自然的特征。合成生物技术解构了自然与人工、机器与生物的二元对立,合成生物学在技术上更多地表现出一种后现代技术的特征。合成生物兼具机器和生物的双重特征,体现了自然与人工的双重融合,它们超越了思维中根深蒂固的自然与技术的二分法,它们应被归属为二元本体之外的“第三”本体论范畴。“合成生物的生成过程不仅包括人工制造,还包括生命的自我生成”^[23]。合成生物既不是纯自然的,也不是纯人工的;它们既不是完全自主的,也不是完全依赖于其创造者的,它们在本体论上应被概念化为混合体。混合体用以指称结合了自然和人工元素的生物,它们是伴随合成生物学而形成的一个独立的、全新的本体论类别。合成生物混合

本体的确立不仅显示了合成生物技术的本质,也反映了合成生物学在本体论上带来的突破性变革。

3.2 混合本体论的现实意义

混合本体论为反思机器本体论的局限性提供了一种批判性的视角,它不仅可以消除机器本体论对合成生物工程实践的不利影响,也可以使我们在新的维度上对合成生物学未来的技术潜力形成新的认识。

3.2.1 摒弃机器本体论的机械论立场

合成生物工程期望“细胞工厂”能够实现高效的生产功能,但从合成生物混合本体的角度来看,仅将合成生物视为机器或设备是远远不够的。

首先,与机器的单一工具性不同,合成生物的生长和繁殖是微生物产生特定有价值代谢物的先决条件,这决定了合成生物需要拥有必要的、为自身服务的生物功能。合成生物工程师需要同时兼顾合成生物的生产功能和生物功能,而这二者并不总是一致的。例如,人类植入合成生物的“终止开关”在几代之后就会被微生物消除,毕竟这样的开关并不符合微生物自身的利益。生命的自我保护倾向在一定程度上会抵消将生物体用作高效生产设施的尝试,它促使合成生物工程师应在生产功能之外饱含一种对生命有机体的理解。实践证明,细胞必须不断地在结构稳定性和功能灵活性之间进行权衡,“过多的人为刚性干预会损害生理适应性,过多的混杂会减损代谢效率”^[24]。因此,要保证“细胞工厂”的生产功能,人为的干预以及在合成生物系统中附加的调节装置或系统就不能与基本的生命过程相冲突。

其次,实现“细胞工厂”的高效生产还需考虑合成生物与环境的关系问题。如果在这个问题上只局限于机器范式,研究者就会将影响“生物机器”运作的外部因素限制在实现其设计目的所必需的那些因素上,这样就不会指望合成生物以多种方式与环境互动。在生成合成生物前体的试验阶段就是如此,其中生物工程对生物反应器和生产设施的外在环境条件要求是严苛的,这在一定程度上会造成合成生物与更复杂生态环境的隔绝。但正如一些学者所指出的,这种隔离是否有利于该领域的效率目标是值得怀疑的,他们认为“当微生物与自然界隔离时会降低它们生产所需物质的效率”^[7]。因此,要实现“细胞工厂”大量的高效生产,合成生物不应被视为孤立、封闭的自我生产者,新陈代谢决定了合成生物应对环境保持一种“开放性”。目前,合成生物学中的某些做法暗含了这种想法,最近微生物学的研究将

关注点从单个细胞扩展到细胞群落的协作互动,如群体感应的代谢工程策略,其重点是探索和提高合成生物对环境的反应和适应能力。

3.2.2 消除机器本体论的还原论和决定论的不利影响

合成生物工程试图利用标准化组件和模块化结构通过组合的方式实现对生命现象的还原,并寄希望于合成生命能够表现出更高的可预测性和可控性。这足以体现合成生物的创造性和新颖性,但从合成生物混合本体的角度来看,合成生物工程在这样做的时候要力避在整体与部分、结构与功能方面对机器与生物的不当类比。合成生物虽然是人工合成的,但它依然具有一些生物特性,它的生成和活动不能按机器的还原论和决定论思维去考虑。

首先,在以工程方法为基础的笛卡尔机器范式中,机器各部分的形式既不是由整体决定的,也不是由其他部分决定的,机器的每个部分以及其功能可以脱离整体而存在,机器的各个组成部分可以拆解并按不同的功能进行拼接组合。而有机生物与此不同,康德认为有机体的“各个部分(按其存在和形式)只有通过其与整体的关系才是可能的”“它的各部分是由于相互交替地作为自己形式的原因和结果,而结合为一个整体的统一体的”^{[16]170}。有机生物的这种部分与整体的关系充分体现了机器所不具有的自组织特性。诚然合成生物工程可以仿照构造机器的还原论方法通过拼凑组合制造出合成生物的整体物质结构,但这并不意味着同时生成了具有生物功能的“活”的生命。生物的生物性功能是通过生物整体与部分之间的自组织关系自然涌现出来的,机器本体论掩盖了机器与生物在部分和整体关系方面与生俱来的本体差异,那种试图通过机械的还原方法和过程实现有机生命结果的想法是存在缺陷的。

其次,机器和生物在结构与功能的关系方面也存在明显的差异。机器的固定结构决定了它的预定功能,这种决定论思维并不适用于生物体。生物体的内部结构并不是固定不变的,作为一个自组织系统,生物体整体的稳定性来自其各个部分的不断再生。生物体的基本组成单位细胞不断地改变其内部结构以跟上其不断变化的功能需求。而且生物结构与其外在功能之间并不总是表现出一种精确的、可预期的一一对应关系,细胞的运作并不像在机器中那样受到其结构配置的严格约束。研究表明,“基因表达噪声”是许多生物系统的一个普遍现象,“这意味着基因‘相同’的细胞在所谓的相同环境中可能存

在相当大的表型差异”^[22],这会使细胞在行为或功能方面表现出某种异质性。加之生物还会演化,演化是一个涉及基因组内随机突变的过程,基因突变改变了生物体的内部遗传结构,可能导致功能的改变,而突变的发生又是不可预测的。研究者们越来越认识到,“当具有已知功能的不同部分组合成一个系统时,这种组合可能会产生无法预测的、全新的能力和行为”^[22]。机器本体论掩盖了新陈代谢系统的不可控性和复杂性,合成生物作为一个自组织的新陈代谢系统并不是一个简单的可控对象,机器类比在合成生物学中主要具有启发式的价值,而不是提供生物体的精确模型,合成生物学应摒弃机器范式中的决定论思维。

3.2.3 超越机器本体论的工业逻辑

机器本体论是工业经济时代机器生产模式孕育的产物,如果只是囿于机器本体论,合成生物技术未来的发展潜力就得不到正视,其积极作用和贡献也会被严重低估。作为新兴技术科学的先锋,合成生物学代表或者说引领了技术范式的转向,技术哲学家诺德曼将这种技术发展趋势概括为“自然技术化”到“技术自然化”的转向。“自然技术化”源于近现代以来的技术进步,科学祛魅和技术理性增强了人类征伐、驾驭和控制自然的能力,自然被技术改造和同化,自然不断地被技术化。与此相应的是人类进入了机器生产的工业经济时代,工业经济是机器本体论得以产生和存在的土壤,在其中机器只具有以人类利益为依归的工具价值。相反,“技术自然化”倡导技术与自然的融合,它是在研究和利用自然界中存在的各种机理和规律的基础上,通过模拟和仿生学手段将自然界的智慧和机制运用到技术领域中的一种方法和理念。在这一方法和理念下,“技术不再是控制自然以保护、庇佑或赋予人类权力的手段,而是融入自然”^[2]。

合成生物学顺应了“技术自然化”的趋势,它将生物工程实体的自组织能力置于新技术科学浪潮的中心,其目标是设计以生物为基础的工业应用。我们不能将生物基生产的未来设想仅仅理解为是用可再生来源替代不可再生的化学生产来源,这样就未能超越工业经济和机器本体论的工业思维逻辑,看不到合成生物学对生产方式的变革性意义。合成生物学领域的工作产生了大量新颖的实体,从可以产出喂养新生儿的类母乳牛奶的“转基因奶牛”,到可以替代人工路灯的“生物发光树”,再到利用微生物将有机物转化为电能的生物燃料电池“细菌电

池”^[1],这些实体广泛地进入社会各个应用领域,从食品、药品到燃料等等不一而足。它们的创造和应用颠覆了农业、能源和化工行业的做法,催生了一种可持续利用可再生生物资源生产食品、能源和工业产品的新型经济模式——生物经济。合成生物技术代表了一种新的、更友好、更高效、更少异化的设计范式,作为生物经济的重要基石,合成生物学对于实现可持续低碳生物经济具有不容低估的技术潜力。此外,“技术自然化”强调技术的“嵌入性”,即通过“以自然的方式行事,技术可以更好地嵌入地球的自然生态系统并与之和谐相处”^[25]。作为“技术自然化”的代表,合成生物技术在解决全球性生态环境问题的过程中也可以发挥更积极的作用。目前合成生物技术的前沿进展向人们展示了合成生物学在环境保护、生态修复和节能减排等方面的巨大潜力和价值。科学家们现在能够利用合成生物学实现聚羟基脂肪酸酯(polyhydroxyalkanoates, PHA)材料的定制化合成。PHA材料具有优良的生物降解性、生物相容性和无毒性等特点,可以在生物医用材料、农用覆盖膜和食品包装等场景中应用。这种材料能在自然环境中自发降解,不会对环境造成危害^[26]。合成生物学也可为节能减排提供新的思路 and 手段。合成生物技术可用于改造微藻的遗传特性,从而提高其生物量和生产力,这将大大提升微藻固碳减排的功效^[27]。在生物光伏领域,合成生物学通过改造光合生物可以显著提高生物光伏的光电转化效率,从而推动生物光伏在成为真正可用的洁净能源的道路上又向前迈进了一步^[28]。

总之,跨越了自然和人工界限的合成生物,因其独特的生物特征和生态特质,使得它们不仅具有对人类利益来说的工具价值,还具有为生物经济和更大的生态系统做出贡献的生态价值。如若只在机器生产的工业逻辑以及与之相对应的机器本体论视域下看待合成生物,那么,合成生物的这些独特的环境和生态价值就会因此黯然失色。

4 结语

合成生物的工程学原则和方法中隐含着一种对合成生物的机器本体论隐喻,这一隐喻实质上是 will 笛卡尔的机器范式移植到合成生物学领域的结果。机器范式是近现代机器工业生产方式下的产物,作为一种概念透镜,机器隐喻只是部分地捕捉到了合成生物的某些本体特征,机器本体论并不能充分地反映合成生物学的技术本质和本体论创新。自组织

研究范式已表明,自组织正日益成为技术融合理想的内核,合成生物学的技术本质体现在对生物自组织和自生产能力的利用,合成生物技术代表和引领了“自然技术化”向“技术自然化”转变的技术发展趋势。合成生物技术展现出技术与自然的融合趋向,合成生物超越了自然与人工、机器与生物的二元对立,它们在本体论上应被概念化为一种更具包容性的混合本体。合成生物混合本体的确立有助于解决由机器本体论产生的问题并支持合成生物学的努力。混合本体论将合成生物看作是具有自组织能力的新陈代谢系统而非单纯的机器,这将跳出机器本体论固有的机械论、还原论和决定论的思维局限,以有助于消除机器本体论对合成生物工程实践的不利影响。另外,从技术展望的角度讲,机器本体论限制了合成生物技术未来技术潜力的挖掘与想象,相反,立足于混合本体论,合成生物技术对未来生物经济的推动作用,以及对解决工业化所致的生态危机的积极贡献将能够被正视和重估。当然与此同时,合成生物学的发展及其技术应用是否会对生物安全和生态环境带来风险也值得进一步思考和研究。

参考文献:

- [1] LUCZAJ M H, BLOK V. How to Deal with Hybrids in the Anthropocene? Towards a Philosophy of Technology and Environmental Philosophy 2.0[J]. *Environmental Values*, 2019, 28(3): 325-345. DOI:10.3197/096327119X15519764179818.
- [2] NORDMANN A. Technology Naturalized: A Challenge to Design for the Human Scale[C]//PIETER E, VERMAAS, PETER K, et al. (Eds) *Philosophy and Design: From Engineering to Architecture*. Dordrecht: Springer, 2008: 173-184.
- [3] EUROPEAN COMMISSION. Synthetic biology: Applying engineering to biology (Report of a NEST High Level Expert Group)[R]. Brussels: European Commission, 2005: 5.
- [4] PÜHLER A, RÖBER B M, et al. Synthetische Biologie: Die Geburt einer neuen Technikwissenschaft[M]. Berlin/Heidelberg: Springer, 2011: 6.
- [5] CLARKE L, KITNEY R. Developing synthetic biology for industrial biotechnology applications[J]. *Biochemical Society Transactions*, 2020, 48(1): 113-122. DOI:10.1042/BST20190349.
- [6] BOLDT J. Machine metaphors and ethics in synthetic biology[J]. *Life Sciences, Society and Policy*, 2018, 14(1): 1-13. DOI:10.1186/s40504-018-0077-y.
- [7] RIJSENBEEK J, BLOK V, ROBAEY Z. Metabolism Instead of Machine: Towards an Ontology of Hybrids[J]. *Philosophy & Technology*, 2022, 35(3): 1-23. DOI:10.1007/s13347-022-00554-y.
- [8] NIELSEN J, KEASLING J D. Engineering cellular metabolism[J]. *Cell*, 2016, 164(6): 1185-1197. DOI:10.1016/j.cell.2016.02.004.
- [9] KOGGE W, RICHTER M. Synthetic biology and its alternatives: Descartes, Kant and the idea of engineering biological machines[J]. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 2013, 44(2): 181-189. DOI:10.1016/j.shpsc.2013.03.013.
- [10] XUEQIN L, GIL A H, XINYU B, et al. New synthetic biology tools for metabolic control [EB/OL]. (2022-04-27)[2024-11-02]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35489308/>. 2022-4-27.
- [11] 费多益. 目的论视角的生命科学解释模式反思[J]. *中国社会科学*, 2019(04): 142-159.
- [12] SCHMIDT J C. Prospective Technology Assessment of Synthetic Biology: Fundamental and Propaedeutic Reflections in Order to Enable an Early Assessment[J]. *Sci Eng Ethics*, 2016, 22(4): 1151-1170. DOI:10.1007/s11948-015-9673-x.
- [13] Pottage A, Sherman B. Organisms and manufactures: On the history of plant inventions[J]. *Melbourne University Law Review*, 2007, 31(2): 539-568. DOI:10.3316/agispt.20082978.
- [14] POLLACK J. Breaking the limits on design complexity [A]//Roco M C, Bainbridge W S. (Eds) *Converging technologies for improving human performance* [C]. Dordrecht: Springer, 2003: 161-164.
- [15] 亚里士多德. 灵魂论及其他[M]. 吴寿彭,译,北京:商务印书馆,2009.
- [16] 康德. 判断力批判[M]. 邓晓芒,译,北京:人民出版社,2017.
- [17] ZEMP A D. The moral impact of synthesising living organisms: Biocentric views on synthetic biology[J]. *Environmental Values*, 2012, 21(1): 63-82. DOI:10.3197/096327112X13225063228023.
- [18] SCHYFTER P. Technological biology? Things and kinds in synthetic biology[J]. *Biology and Philosophy*, 2012, 27(1): 29-48. DOI:10.1007/s10539-011-9288-9.
- [19] TAYLOR P W. Respect for nature a theory of environmental ethics[M]. Princeton: Princeton University Press, 1986: 45.
- [20] 常晓宇,季蕾,黄玉杰,等. 石油烃微生物降解基因及其工程菌应用研究进展[J]. *中国环境科学*, 2023, 43(08): 4305-4315. DOI: 10.19674/j. cnki. issn1000-

- 6923.20230628.005.
- [21] MACOVEI O. Epistemological Approaches on Systemic and Synthetic Biology[J]. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 2022, 13(4): 471-495. DOI:10.18662/brain/13.4/400.
- [22] MALLEY M A. Exploration, iterativity and kludging in synthetic biology[J]. *Comptes Rendus Chimie*, 2011, 14(4): 406-412. DOI: 10.1016/j.crci.2010.06.021.
- [23] 刘海龙. 合成生物究竟是人工物还是自然物: 从其概念的内在矛盾谈起[J]. *自然辩证法研究*, 2022, 38(10): 50-55. DOI: 10.19484/j.cnki.1000-8934.2022.10.015.
- [24] NICHOLSON D J. Is the Cell Really a Machine?[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, 477(2): 108-126. DOI:10.1016/j.jtbi.2019.06.002.
- [25] LUCZAJ M H, Blok V. Hybrids and the Boundaries of Moral Considerability or Revisiting the Idea of Non-Instrumental Value[J]. *Philosophy & Technology*, 2021, 34(2): 223-242. DOI:10.1007/s13347-01-00380-9.
- [26] 陈国强, 谭丹. 重编程微生物底盘用于 PHA 材料的定制化低成本生物合成[J]. *合成生物学*, 2024, 5(05): 1211-1226. DOI:10.12211/2096-8280.2024-024.
- [27] 曾庆璐, 郝庭彬. 微藻合成生物学应用及前景[J]. *新兴科学技术趋势*, 2024, 3(01): 52-61. DOI: 10.12405/j.issn.2097-1486.2024.01.006.
- [28] 朱华伟, 李寅. 生物光伏: 环境友好的新型太阳能利用技术[J]. *合成生物学*, 2023, 4(06): 1259-1280. DOI:10.12211/2096-8280.2023-039.



刘永安, 副教授, 博士, 硕士生导师, 江苏高校“青蓝工程”中青年学术带头人。主要研究方向: 科技哲学和科技伦理。主持教育部项目 2 项、江苏省教育厅项目 2 项, 参研国家社科基金和江苏省社科基金项目数项。出版学术专著 1 部, 在《自然辩证法研究》《自然辩证法通讯》等学术期刊发表论文 20 余篇。Email: anyongliu2012@sina.com

(责任编辑: 席领军)