

【文章导读】

近年来，生命科学的蓬勃发展，使得人类不仅能够更好地“认识生命”，甚至开始“设计生命”，充当新时代的“造物主”；在“上帝已死”的时代，人类自身开始扮演起近乎“上帝”的角色。本文在介绍生命科技前沿领域——合成生物学的基础上，指出合成生物学及其技术确实能够揭示出生命的某些特质。但仅仅如此是不够的，微观的受控实验需要与宏观的哲学认知互相结合、交互印证，才能逐步加深我们对生命的理解。

从“设计生命”到理解生命

——对生命科学的哲学阐释

金帆

尽管人类认识和操控世界（包括人体自身）的能力越来越强，但是，人对生命的理解，对人类大脑和意识的了解，都远远跟不上对生物细节知识的了解和操纵。

2010年以来，人工智能和生命科技作为科技发展的两大前沿，呈现出蓬勃发展的态势，并对人类生活发生着日益深入、广泛的影响。2010年，基因科学家温特尔（John Craig Venter）带领他的团队在实验室合成了第一个人工合成细胞，命名为“辛西娅”（Synthia），并称它是第一种“以计算器为父母的自我复制的生物”。今年，人类的创造物“阿尔法狗”以3:0大败柯洁，成为围棋界的“上帝之手”。人类对世界的认知似乎开始逐渐摆脱肉体感官，进入精密工具操作、介入和干预的阶段，人类自身似乎开始扮演近乎“上帝”的角色。尽管人类认识和操控世界（包括人体自身）的能力越来越强，但是，人对生命的理解，对人类大脑和意识的了解，都远远跟不上对生物细节知识的了解和操纵。

本文将简单介绍近几年新兴的合成生物学，并揭示它对如何理解生命有什么意义。目前，合成生物学已经制造出一些控制生命的个别过程的生物组件，并开始应用于与我们生活密切相关的环保、医疗、食品制造等领域。也就是说，人类“设计生命”的巨变正在发生，已在路上！我认为，在此过程中，生命科技的研究者不能缺少宏观哲学思考，必须有意识地去认识“生命是什么”，才能使生命科技更有效地造福于人类。

合成生物学与“设计生命”

经过多年的知识积累和技术准备，人类已经开始通过工程化的设计理念，对生物体进行有目标的设计、改造乃至重新合成，从而创建赋予非自然功能的“合成生命体”，这个领域被称为合成生物学，其通过基因回路的设计和植入可实现对细胞行为的精确控制。

生命系统的基因回路是通过数十亿年演化形成的，但科学家可通过工程化的逆向设计，如按照拼接逻辑电路的方法来设计基因回路，达到控制生命的目的。比如，若我们想控制细胞内某个基因的表达出现周期性振荡，就可参考数字



伴随新兴科技的发展，人类自身似乎开始扮演近乎“上帝”的角色

电路中经典振荡器的设计——将三个非门串起来，如果输入1，输出就变成0；如果输入0，输出就变成1，通过将1由输出返回输入，使回路在0和1之间振荡。UCLA生物学家就是利用同样的原理将三个由基因表达系统构成的非门进行串联，从而实现了基因表达振荡器。^[1]该基因振荡器可以调节细胞的自然发育节奏及其内部运作过程。

换言之，目前合成生物学的研究步骤是先绘制出一幅理解生命现象的原理图，再按照这幅图来对生命过程进行设计，设计出来的生物组件要完成设计目标。本来，理解复杂的生命系统极其艰难，合成生物学和技术，可以通过对初级基因片段的设计、拼接，并比较设计、拼接的结果和最初的预想，进而由点及面地理解生命。这就为人类理解复杂的生命系统提供了一个新思路。

合成生物学在21世纪快速发展。有一个组织，2003年麻省理工学院（MIT）创办的国际遗传工程机器大赛（International Genetically Engineered Machine Competition）简称iGEM，是合成生物学领域的一个半学术、半民间的国际性学术竞赛合作的重要组织，目前有百多个、包括中国十几个高校参与。iGEM每年举行大赛，参赛者是由本科生组成团队，参赛内容是把生物零件（BioBrick），即把零件（Part）组装成装置（Device），再把装置（Device）组成系统（System），实现基因组件的模块化，由此构建有特定功能的人工生物模块、系统，实现对复杂生物系统的操纵和测量。iGEM另一个基本理念是开源共享，所有参与团队都必需公开他们的研究成果，同时也可无偿享用他人已研发出来的生物模块。由于有越来越多的基因片段的发现和共享，拼接技术的应用门槛大大降低。另外，与以前拼接基因片段需花费高额费用，并且只有在专业实验室才能完成相比；现在，费用在呈指数下降，本科生经培训就能做。因此，在合成生物技术大为普及的情况下，如何拼装基因片段？如何设计生物？更重要的是，如何实现基因拼接、生物设计的模块化？理念（idea）变得愈发重要，它正在倒逼科学家们加深对生命的认识。

整体上看，合成生物学作为新兴科学技术，仍处于初级阶段。对合成生物

合成生物学和技术，可以通过对初级基因片段的设计、拼接，并比较设计、拼接的结果和最初的预想，进而由点及面地理解生命。这就为人类理解复杂的生命系统提供了一个新思路。

学发展的最大限制仍然是人类对生命系统的理解。尽管科学家可以按照电路控制对基因进行设计和调控，但任何生命都是一个多重控制调节回路的复杂系统，人工设计的电路系统并不能整体上仿真这一系统。即使合成生物实现了对生命现象的局部模拟，但这一设计是否最优，对生命整体会产生什么样的新问题，都是在科研和开发中不得不考虑的。

概言之，合成生物学及其技术从生命最低层的局部现象入手，做可控实验，并在应用中不断受到检验，能够反映出生命的某些特质。但仅仅如此是不够的，微观的受控实验需要与我们对生命的宏观哲学认知互相结合、交互印证，才能逐步加深我们对生命的理解。

生命的衰老和死亡

生命系统是经历了数十亿年演化而形成的。即便科学家可以弄清楚每个蛋白的功能组件，也可以弄清楚每一个生命基因，但对于它们如何组成一个复杂的生命系统，仍然是未知的。生物学界讨论“生命是什么”时，常常会从一个重要生命现象入手，这就是生命的衰老和死亡。从生命科学家角度看，进化论在今天依然是理解生命起源和演化的重要理论。

首先有必要区分两种进化论。一种是源自于达尔文、成型于20世纪五六十年代生物学家的研究生命科学的进化论，另一种是作为文化符号、意识形态的进化论或社会达尔文主义。后一种进化论，其“和现代意识形态互相结合，不仅假装解释了人类丰富的精神历史，还蛮横地无限肯定现在，并进一步限制了人类探求更高人性可能的动力”。而作为科学理论的进化论虽然“有时过分宏观而使某

生命系统是经历了数十亿年演化而形成的。即便科学家可以弄清楚每个蛋白的功能组件，也可以弄清楚每一个生命基因，但对于它们如何组成一个复杂的生命系统，仍然是未知的。



达尔文进化论在今天依然是理解生命起源和演化的重要理论

些细节显得模糊不清，但它还是为进化生物学搜集数据和阐释事实提供了相对完整的概念框架。也许在某些方面对进化论过度使用违背了科学精神，但它毕竟是我们生物学中为数不多的选择之一”。^[2]

达尔文进化论包含两点核心内容：物竞天择（nature selection）和个体利益（individual benefit），后者是前者的基础，也就是基于个体利益的自然选择。进化论在19世纪末到20世纪中后期，大量吸收了遗传学、特别是基因研究成果，简化地说，在以下三个方面有了很大发展：（1）进化的基本单位不是个体，而是种群基因库的变化；（2）种群间的隔离是物种形成和演化的必要条件，因此，自然选择只是对亲缘内的选择（kin selection）；（3）个体基因的突变可以为种群基因库带来具有多样性的遗传变异基因；在自然演化中，自然选择逐步淘汰不能适应环境的基因类型，使种群基因库向增加对环境适应性的方向演化。进化论已大大完善，但质疑者仍大有人在。其中一个重要问题是：根据自然选择推理，生命个体延续时间越长、个体获得利益越多，但为什么生物在数十亿年的演化过程中，并没有演化出一个寿命无限的物种？如何理解衰老和死亡，就成为解释生命本质的重要议题之一。

对这个问题，彼得·梅达瓦（Peter Brian Medawar）、威廉姆斯（George Christopher Williams）和汉米尔顿（William Donald Hamilton）等生物学家在20世纪五六十年代提出一种新假说，指出这是因为物种进化的自然选择能力在其性成熟并生完第一代之后便迅速下降。例如，假设有一种致死性的遗传病，如果该病是在5岁或性成熟前发作，那么就不可能传给后代，自然选择可以淘汰带有这种致病基因的个体。如果有的病在40岁或50岁以后高发，比如糖尿病、冠心病一类老年病，发生在性成熟并完成生育之后，该基因就会遗传给后代。也就是说，进化的选择力度随着年龄的增加而下降，令自然选择无法发展出一套对抗衰亡的进化以消除人类这些老年病。

其实，生命衰亡涉及一个更普遍、万物皆有的现象——老化（aging），它并非生命所特有，如电池、车轮、轴承都有老化的过程，其本质是功能退化。这里的功能是指什么？数学上有一种说法，即一个函数的功能是一个映像，这个映像与函数集合，二者互相独立，没有关系。但如果这一映像与函数集合互相关联、产生了联系，它就是有功能的。可以推论说，功能起源于意向性。比如一堆铁，我们可以将其制作成刀具、轴承，去实现铁的某项功能，这种功能和主体设计的目标是互相耦合的。使用这一功能过程中，会受到两方面干扰，从而降低其与主体的耦合度。一是外部环境随机、无差别的扰动，如自然风化引起的腐蚀；二是主体的意向性操作，这是非随机的、定向的扰动。也就是说，只要使用它，其功能必然退化，使用次数越多，功能退化得越快。

衰亡与老化具有某种同构性。但生物机体的功能退化与一般性的功能退化不同之处是，非生物的功能退化可以藉由与外部环境隔离或者停止使用来阻止，而生物机体的功能与主体的耦合关系是无法割裂的。以呼吸为例，生物组织细胞必须仰赖线粒体进行呼吸以获得能量。呼吸是一个氧化反应过程，在呼吸的电子传递过程中会有约2%~3%的氧气因不充分的还原过程变成具有高反应活性的自由基（free radical）（充分的还原将氧气还原成无害的水分子）。正是呼吸

根据自然选择推理，生命个体延续时间越长、个体获得利益越多，但为什么生物在数十亿年的演化过程中，并没有演化出一个寿命无限的物种？如何理解衰老和死亡，就成为解释生命本质的重要议题之一。

产生的自由基会对生物体内的DNA构成损伤，引致衰亡。但人类或其他生物能因此而不呼吸吗？答案显然是否定的。

功能修复可以减缓或者避免系统的老化或者与机体的衰亡，它包括两种方式：一是无差别修复，即组织器官通过不断的细胞分裂并以指数增加的方式来稀释老化细胞对器官组织的影响，可见这种修复并未真正修复退化的机体，而是以新机体取代已退化的机体。对这种特殊修复方式，重要的是整个系统必须保持在高速增长、发育的状态（如指数生长），只有这样才可将老化细胞或物质的比例限制在一个很低的分数。^[3]

其实这样的一种修复机制对任何一类组织系统乃至社会都是有效的，例如社会经济、人口在高速增长时，随之出现的许多内部矛盾都将被指数增长所稀释，在这样一段时间内社会这样的复杂系统可以保持在高效运行的状态，或者说是年轻的状态，一旦增长放缓或者停滞，种种的矛盾就显现出来，随着矛盾的积累必然降低系统运行的效率甚至导致严重的社会危机。

需要说明的是，这种通过“以新替旧”来修复机体的机制，在理想状态下似乎是永恒有效的。然而，资源空间是受限的，细胞分裂、数量增长的养料迟早会被消耗完，特别是指数级的增长正对应着指数级的资源消耗，在一定时间内，细胞增长所需的资源就会被消耗殆尽，无差别修复的进程随之减缓并最终终止。换言之，这种修复机制是不可持续的。

这一结论也能帮助我们理解当前全球现代性危机的起源：二战后的科技革命已经带给了人类社会近70年的近指数增长，但当这种增长不可避免地减缓或停止时，我们必将面对随之而来的各种尖锐矛盾。

与无差别修复对应的另一种修复机制是特异性修复。如现代医学的治疗，它是针对功能退化的生理部位进行特定的修复。但如前所述，生命的存在可被归为动力学的系统稳定性，一旦出现对特定生理部位的外来干涉，势必会产生某些与生命系统不相耦合的要素，这些要素的累积反过来会导致特异性修复机制自身的功能退化。例如，被称为抗癌的靶向药物在使用过程中，癌细胞会产生抗药性，也就是这种特异性清除机制的退化。

类似的情况也经常出现在管理系统中，所有的公司和组织都会针对公司碰到的问题，制定一些专门的规则去管理和约束员工，可以将这些规章看作对问题的某种特异性修复机制。通常来说，这些制度在开始的时候都是有效的，但随着时间推移，员工总会找到办法逃逸这种约束，这个时候公司就不得不再制定新的规则。但是，新规则越来越多、越来越细，这本身就反映出特异性修复机制自身的退化。

谷歌的未来科学家库茨魏尔（Raymond Kurzweil）认为，伴随大数据和精准医疗的发展，2029年，人类将看到永生的可能性，2045年将实现永生。我认为，这种智能治疗也是一种特异性修复机制，它也必然会有一个功能退化的过程，生命的衰亡依旧是不可避免的。

总之，我们可以从三个层次来理解生命的衰亡，（1）最基本的老化，即功能退化，这是自然规律；（2）空间和资源的有限性，使得无差别修复无法永久持续下去，受到遏止；（3）特异性修复机制的功能本身也会退化，使其最终无

二战后的科技革命已经带给了人类社会近70年的近指数增长，但当这种增长不可避免地减缓或停止时，我们必将面对随之而来的各种尖锐矛盾。

法修复老化的机体。换言之，生命衰亡的本质是，在内外情境的变动下，生命系统的稳定性遭到破坏。

如何理解生命的不朽

十分有意思的是，尽管每个生命都将面临衰老和死亡，但作为整体的生命却可以是不朽的（这里的不朽是指在长达数十亿年的稳定性，严格来说，行星、恒星乃至宇宙都有其寿命）。以微生物为例，现在可以看到35亿年前形成的化石上就有细菌。换言之，细菌这种生命形式经过长时间的洗礼仍旧存活到了今天。一直到21世纪初，基本上把细菌当作单细胞生物来研究。现在，研究细菌的生存，已转向对细菌群体的研究。如个别细菌如何组成群体，其结为群体后反过来对个体会发生什么影响？

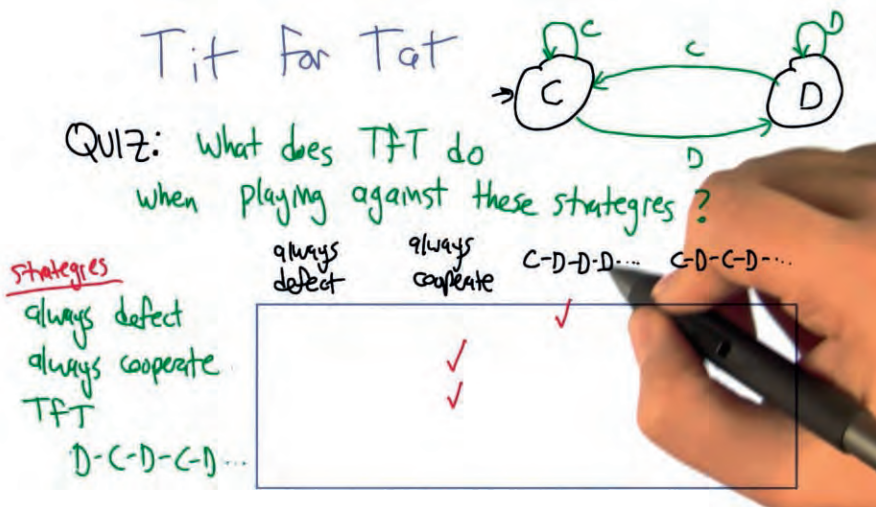
细菌常常以细菌生物被膜（Bacterial biofilm, BF）的形式存在，细菌附着到某一固体上，如石头、河床、船舷等表面，然后开始生长、分裂，逐渐形成一个密集群体。细菌生物被膜作为集群存在的一种生命形式，是通过释放微小的信号分子，来实现不同细菌之间的互相沟通，同时这些信号分子也会影响周边细菌的生理功能、行为以及基因表达。当作为集群的细菌生长到某一程度，就会释放出一些单独的细菌，它们到达另一个表面、界面或固体上，开始新一轮的生命循环周期。所谓细菌生命的不朽，与其集群或组织的存在形态紧密相关。由此就涉及以下两方面议题：

第一，任何组织、包括细菌生物被膜在内，其内部必然存在分工，分工才能实现功能的多样性。那么，这种多样性是如何产生的？组织是如何实现在结构、功能上的区别以及它们之间的协调？研究个体与组织的关系，在近几年非常热门，这些关系可以是竞争、合作，或者其他类型。仍以细菌为例，在平面培养板上放入某一细菌的不同族群，它们之间会互相攻击，但最后没有明显的胜方，维持了生态系统的生物多样性（biodiversity）；相反，如果是放在混合均匀、环境均一的烧瓶里，就无法维持生物的多样性。^[4]

这给我们一个启发：多样性出现在一个各子系统已形成确定关系的系统中，它们需要适度的空间隔离，在一个均质的环境下是不会出现多样性的。其实，类似现象在人类文明进程中也存在。从古文明到轴心文明时代，由于不同文明在空间上的相互隔离，使得多元的文明形态相继形成。但自近代以来，全球化启动并一直处于加速发展中，世界文明的发展空间日益均质化，多元文明形态也逐渐趋于一元。在日趋均质的环境下，能否又如何保持多样性的存在及其系统要素之间的动态平衡，这是人文学界和科学界共同面临的问题。

第二，组织内部个体之间存在着竞争关系和合作关系，以维持生命演化过程中的系统稳定性。生物是如何完成合作，以实现生命系统的动态平衡的呢？合作有不同形式，其中，博弈论的“以牙还牙”（tit for tat）是化解囚徒困境（Reiterated Prisoner's Dilemma）的有效策略。其可分解为两个步骤：（1）第一个回合选择合作；（2）下一回合是否合作要看上一回对方是否合作，若对方上一回背叛，此回合我亦背叛；若对方上一回合合作，此回合继续合作。换言

自近代以来，全球化启动并一直处于加速发展中，世界文明的发展空间日益均质化，多元文明形态也逐渐趋于一元。



博弈论的“以牙还牙”（tit for tat），解释了生物合作是如何发生的

之，在博弈过程中，我们不一定要比对手做得更好，或是去探索对方的弱点，而是怎么通过相互得益去诱发合作。这个策略最早是由数学家阿纳托·拉普伯特（Anatol Rapoport）提出，后来在细菌研究中得到再一次证明。^[5]

合作关系中还有另一种重要现象，即为为什么组织内个体有时会做出“利他性”的行为？表面上看，这与“个体利益”这一达尔文进化论的核心是背道而驰的。这就需要引入20世纪50年代以来进化论新进展中的另一个重要概念——亲缘选择（Kin selection）。此理论的代表人物英国生物学家汉密尔顿（W. D. Hamilton）提出一个非常著名的公式： $RB > C$ ，其中，R是亲缘属性，两个生物之间若无亲缘关系，则R为0，若完全同根同族，则R为1；B是个体生物在群体中得到的利益，C是个体生物在利他行为中牺牲的利益，如果 $RB > C$ ，则亲缘选择发生。这样的一个原理在蚂蚁、昆虫这个级别，已经被很多很漂亮的实验证明了。但是在微生物领域，这个理论仍受到挑战。因为微生物里面有一个如何完成亲缘识别的问题。

需要强调的是，综观生命不同层次，虽然都能发现亲缘选择现象的存在，但亲缘选择在生命演化过程中依旧是结构不稳定的，例如伪装成小老虎的小猪可以骗过母虎而不受到攻击甚至得到母虎的喂养，可见欺骗和伪装的出现令亲缘选择在演化过程中变得结构不稳定。此外，生物基因可能产生突变，如果这种突变基因使生物只去享受公共产品（public goods），却并不从事生产，使之逐渐壮大并在与其他基因的竞争中获胜，那么，也会导致合作的分崩离析。这也就是所谓的“公地的悲剧”：虽然合作可以令群体受益，但是出现自私或者只考虑自私利益的个体时将导致合作的崩塌，从这个层面来说，合作的出现是结构不稳定的，其很容易被自私者所破坏。^[6]

为什么合作在自私者面前如此“脆弱”，但自然界还是演化出了这种合作模式呢？就这一问题，笔者团队做出了一些学术成果，解释了这个问题。我们发现绿脓杆菌生产会分泌一种载铁小分子，其扮演公共产品的角色，可以帮助细菌捕获环境中微量的铁元素，供体系内所有细菌使用。但这种分泌不是任意的，而

为什么组织内个体有时会做出“利他性”的行为？表面上看，这与“个体利益”这一达尔文进化论的核心是背道而驰的。

是受到环境因素直接调控，当周围环境变得恶劣时，如营养不足或者有抗生素存在时，绿脓杆菌会自动关闭载铁小分子的分泌系统，将所生产的这种小分子保留在自己体内私用，这些私有化的产品（private goods）可以极大地增加细菌个体在恶劣环境中的生存能力。我们还发现，正是这样一种受环境调控的私有化机制，保证了绿脓杆菌在有环境压力的情况下相对那些自私的细菌产生生存优势，这种机制使得结构不稳定的合作变得结构稳定后不再受到自私者的破坏。

换言之，私有化和合作以及公有化看似是对立的，但其却可以保证公有化以及合作在演化中保持结构稳定性。

在生命系统中，有一种极端的利他行为就是自杀。个体生命尤其是功能老化或者功能受损的个体通过自杀可以减小对资源的消耗，自杀后释放出的物质可供新的个体生长，这样可令群体受益。这样现象的存在是多细胞生命生存最基本原则，其被称作细胞凋亡，也就是个体细胞程序化死亡的方式，这一自杀机制的出现是演化的必然结果。但是自杀从演化上讲，也是结构不稳定的，如果因基因突变，个体逃脱了自杀机制，那么这些突变细胞将不受限制的生长，其结果是完全淘汰具有自杀机制的细胞，这种不受节制的生长最终也将导致整个多细胞系统的瓦解。癌症的发生就是由这个原因导致的。

由此可见，个体的牺牲对于群体的利益来说是至关重要的。在组织系统没有那么紧密的微生物系统中，人们也发现当微生物形成生物被膜时，生物被膜内的细菌在资源受限以及自身功能受损时也会开启自杀机制从而使种群受益。从这一点来说，自然演化不但不能令生命个体朝着个体寿命增加的方向发展，而是会令个体生命在性成熟后朝着自我毁灭的方向演化。

我们来设想这样一个情景：在史前出现过两个人类种群，一个种群的人类基因中没有演化出“自杀”基因，其结果是该种群个体的平均寿命非常的长，人口老龄化的现象很严重。而另一个种群中的人类演化出了“自杀”机制，这些基因导致人们在过了生育年龄后迅速衰老、死亡，这样的结果是这个种群人口基数较少，而且人口构成以年轻人为主。若碰到恶劣的自然环境，或者两个群体发生战争，其结果必然是具有“自杀”基因的种群淘汰没有该基因的种群。

从这个角度来说，现在生命的衰老有很多是通过主动的机制去完成的，随着这些机制和基因被逐渐发现和阐明，必将令现在人类的平均寿命大幅度延长。个体寿命的过度延长会导致系统的老化，并极大的增加环境负担，这也将是人类社会在未来须面对的挑战之一。

由此，对这个生物被膜（biofilm）组织是什么，我们有一个猜想。观察生物被膜的细菌合作、竞争、老化现象可以发现，最先分化出来的很多东西是它的循环系统。这是因为循环系统需要高效运作，保障每一个单元都能享到养料。

思考微生物这样一个关系网络，有两个非常重要意义。一是有应用价值，找到解决抗药性、耐药性途径；二是增进对生命和组织理解。这一层面的研究，涉及多细胞组织如何产生的，以及多细胞行为的内在组织规律。了解这些规律，对我们理解其他形式组织的内部的竞争、合作、定位、分化，都很有意义。

通过上述研究，我们可以在生命的不朽与死亡之间建立起联系，死亡在某

正是这样一种受环境调控的私有化机制，使得结构不稳定的合作变得结构稳定后不再受到自私者的破坏。私有化和合作以及公有化看似是对立的，但其却可以保证公有化以及合作在演化中保持结构稳定性。



佛教十二因緣说

种意义上不是一个自然现象，而是生命演化的产物，其是生命组织的更新机制。

理解生命：宏观思考与微观研究

本文简述了笔者近几年做生命科学研究过程中，对生命现象的一些观察和哲学思考。^[7]合成生物学作为21世纪最新兴的合成生物学是集合了生物学、化学、工程学、计算、生物信息等多学科交叉的交叉科学，它采用工程化设计理念，对生物体进行有目标的设计改造乃至重新合成，因此，合成生物学的研究探索及其技术开发应用正在突飞猛进，不但将对人类面临的环境、资源、健康、安全等严重问题提供革命性的解决方案，也对人类认识和揭示生命本质和探索生命活动规律具有重要意义。

本文所述内容可归为当前生物科学界的一个学科——微生物社会学的内容，其中既包括分子生物学、生命科学，也有社会学、系统论的内容。这项研究在某种意义上反映出不同层次生命具有同构性，下至微生物的亲缘选择、组织多样化的出现，上至人类社会认同的生成、文明多样性的起源，都具有某种结构相似性。更重要的是，在科学层面上，很多生命规律可以通过受控实验来进行直接观测，但在研究人类社会运行的规律时，这却很难实现，唯一的方法是进行历史研究，但史学家是无法进行受控实验的，也就很难确定某个“历史规律”的真伪。但细胞层面存在诸多组织规律，这些规律可以指导所有组织内部的竞争、合作、分化，甚至能折射出某些生命的本质问题。

此外，受控实验需要与我们对生命的宏观哲学认知互相结合、交互印证，才能逐步加深我们对生命的理解。生命是一个循环，每个个体生命都会衰老、死亡，死亡又意味着作为整体的生命系统的一次更新、再生。总的来说，我们可以将生命定义如下：生命是在环境受到极大扰动、资源有限和所有组织功能必定退化的情况下（这三者是客观存在的自然规律），一个不朽的存在。生命起源至今已有35亿年，尽管其形态不断发生变化，但作为整体的生命却一直延续了

在某种意义上反映出不同层次生命具有同构性，下至微生物的亲缘选择、组织多样化的出现，上至人类社会认同的生成、文明多样性的起源，都具有某种结构相似性。

来。根据以上对生命的定义，人类还远远达不到“造物主”的水准，因为其所“设计”的“生命”无法达至不朽。

衰老-死亡-重生构成一个不朽的循环，映射出了生命最本质的内容，它存在于生命的各个层次，从微生物到人类社会，具有某种必然性。佛教有所谓十二因缘说——从“无明”到“老死”的十二个环节，因果相随，三世相续而无间断，使人流转于生死轮回。如果做出类比，生命亦是如此，环境的扰动、资源的限制、功能的退化，都是生命所不可避免的，但它亦将在其中不断地衰亡-重生。从这个意义上说，对于生命的宏观哲学认知，也可以帮助理解现代人所面临的种种价值、伦理危机，以及所谓轴心时代的终结，如果将“终极关怀”视作人类生命演化中的重要组成部分，或许可以说，它在今日的衰亡，只是为了预备明日的重生。■

(作者单位：中国科技大学合肥微尺度物质科学国家实验室)

注释：

[1] E. Fung, et al., “A synthetic gene—metabolic oscillator”, *Nature*, Vol.7038 (2005) .

[2] 陈勃杭：《未完成的对话：宗教特创论与达尔文主义之争》，载《文化纵横》2015年4月号。

[3] 如以指数分裂生长的细菌就是通过这种方式避免老化的，法国科学家Suckjoon Jun和他的同事制作了一种特殊装置以确保单个细菌一直处于指数分裂状态，他们证明处在这样状态的细菌的功能是不会随着时间推移而退化的，也就是不会衰老。

[4] 这一现象，在2002年7月的《自然》(*Nature*)刊登的斯坦福大学与耶鲁大学研究员合作的论文得到了证明。在这个实验中，他们用基因工程把大肠杆菌(*Escherichia coli*)做成三种不同类型的菌种，一种是原生、易感性(sensitive, 简称S)，一种是耐受性(Resistant, 简称R)，第三种是可分泌杀死大肠杆菌的细菌素(bacteriocin)品种(colicin, 简称C)，把这三个菌种放在一个烧瓶溶液里培养观察。他们发现，易感性菌种S很快被带杀菌素的菌种C杀光了，耐受性菌种R又杀光带杀菌素的菌种C，最后溶液里只剩下耐受性菌种R，多样性没有了。但如果把这三个菌种放到一个平板上去培养，在这样一个局域的环境里，这三种相克菌种之间的竞争就完全不同了，它们之间就如同玩剪刀石头布的游戏那样，在动态演化过程中，最后竟然是三者逐步趋向按一定比例的动态平衡的共生状态，形成一个多样性的稳态。B. Kerr, M. A. Riley, M. W. Feldman & B. J. M. Bohannan, “Local dispersal promotes biodiversity in a real-life game of rock-paper-scissors”, *Nature*, Vol.6894 (2002) .

[5] 2013年，生物学者巴斯勒(Marek Basler)发表一篇文章，对细菌的“以牙还牙”策略行为做出十分有趣的观察和分析。巴斯勒的实验中，把霍乱弧菌和绿脓杆菌混合到一起，他发现绿脓杆菌只有在受到霍乱弧菌攻击时才会做出反击。受攻击时，绿脓杆菌的反击方式是合成相应的VI型分泌系统(Type VI secretion system, T6SS)，它是一种有毒性的蛋白，能像匕首那样抵抗、杀死攻击它的霍乱弧菌。换句话说，绿脓杆菌的VI型分泌系统是否启动，取决于它自身是否受到攻击。这篇

文章的主标题即是“以牙还牙”(tit for tat)，说明合作的出现是演化的必然结果。M. Basler M, B. T. Ho & J. J. Mekalanos, “Tit-for-Tat: Type VI Secretion System Counterattack during Bacterial Cell-Cell Interactions”, *Cell*, Vol.152 (2013) .

[6] G. Hardin, “TRAGEDY OF COMMONS”, *Science*, Vol. 3859 (1968) .在细菌合作的研究中发现过一个经典的例子，绿脓杆菌可生产并向环境分泌一种载铁小分子，这个时候这种载铁小分子就扮演了公共产品的角色。研究发现，绿脓杆菌通过这种共同生长以及共同享有利益的模式展开合作，且这种合作对于种群来说是非常有益的，但是当在种群体内混入少量的不生产载铁小分子这种公共产品的突变菌株时，因这种自私的菌不去生产但可以享受其他细菌生产的公共产品，这就导致自私的细菌比无私合作的细菌生长得快，最终导致“悲剧性”的结果：自私的细菌将合作无私的细菌全部淘汰。

[7] 在笔者团队的细菌研究中，一方面注重引进学科交叉的方法，另一方面高度重视用新方法研究细菌组织及其与环境互动的机制。例如，笔者参与的一项研究，通过开发新型图像分析算法以及高通量解析细菌在表面残留多糖印迹，发现了铜绿假单胞菌落是根据“富者愈富”(rich get richer)的行为模式而自组织形成的内在机制。[K. Zhao, B. S. Tseng, B. Beckerman, F. Jin, M. L. Gibiansky, J. J. Harrison, E. Luijten, M. R. Parsek & G. C. L. Wong, “Psi trails guide exploration and microcolony formation in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms”, *Nature*, Vol.7449 (2013)]我们研究团队的一项实验，首次观察到并证明细菌能够对材料表面的粘弹性作出主动响应，这一研究为通过调控材料表面粘弹性而达到控制细菌在表面传播、扩散的目标提供了理论支持。[R. Zhang, L. Ni, Z. Y. Jin, J. H. Li, & F. Jin, “Bacteria slingshot more on soft surfaces”, *Nat. Commun.*, Vol. 5541 (2014)]我们还发现细菌是通过控制蛋白FimX去适应周围环境的分子机制，这对控制感染具有应用意义。[Lei Ni, Shuai Yang, Rongrong Zhang, Zhenyu Jin, Hao Chen, Jacinta C Conrad & Fan Jin, “Bacteria differently deploy type-IV pili on surfaces to adapt to nutrient availability”, *NPJ Biofilms Microb.*, Vol.15029 (2016)]

对于生命的宏观哲学认知，也可以帮助理解现代人面临的种种价值、伦理危机，以及所谓轴心时代的终结，如果将“终极关怀”视作人类生命演化中的重要组成部分，或许可以说，它在今日的衰亡，只是为了预备明日的重生。