

生物学中的智能

生物学是对复杂事物的研究,这些事物看起来像是为某种目的而设计的。

——理查德·道金斯(Richard Dawkins)

智能取决于一个物种在做它们生存所需的事情方面的效率。

——查尔斯·达尔文(Charles Darwin)

地球仍然是宇宙中唯一已知孕育生命的地方。地球上最早出现生命形式的时间至少是 37.7 亿年前,可能早在 44.1 亿年前——距 45 亿年前海洋形成后不久,以及 45.4 亿年前地球形成后不久。结果,化学催生了生物学。

生物学是研究生物(包括微生物、植物和动物)的结构、功能、发生和发展规律的科学。地球上现存的生物有 200 万~450 万种。已经灭绝的生物种类更多,估计至少有 1500 万种。从深海到高山,从北极到南极,从高温的热带到寒冷的冻原,都有生物存在。它们生活方式变化多端,具有多种多样的形态结构。

本章首先简要介绍对于“生命是什么”这个基本问题的探索过程,然后介绍一些对于“生命为什么会存在”这个问题的研究,最后介绍微生物中的智能、植物中的智能和动物中的智能现象。我们可以看到,在生物层面上推动宇宙趋向稳定的过程中,生物的智能应运而生。

5.1 生命是什么

如第 4 章所述,在一个受热力学第二定律支配的物理和化学的世界中,所有孤立的系统都有望接近最大无序状态。

地球上的生命保持高度有序的状态,从最原始的无细胞结构状态进化为有细胞结构的原核生物,从原核生物进化为真核单细胞生物,然后按照不同方向发展,出现了真菌界、植物界和动物界。植物界从藻类到裸蕨植物再到蕨类植物、裸

子植物,最后出现了被子植物。动物界从原始鞭毛虫到多细胞动物,从多细胞动物到脊索动物,进而演化出高等脊索动物——脊椎动物。脊椎动物中的鱼类又演化到两栖类再到爬行类,从中分化出哺乳类和鸟类,哺乳类中的一支进一步发展为高等智慧生物,这就是人。

可以看到,生物从单细胞到多细胞、从低等到高等、从简单到复杂、从水生到陆生,不断发展进化。有人认为这似乎违反了热力学第二定律,暗示存在悖论。

其实这不是悖论。尽管在封闭系统中熵必须随时间增加,但开放系统可以通过增加周围环境的熵来保持其低熵。生物圈是一个开放的系统。1944年,物理学家埃尔温·薛定谔(Erwin Schrödinger)在其专著《生命是什么?》中指出,这是一个生物,从病毒到人类,必须做的事情。

这本书主要从下面三方面来论述:一是从信息学的角度提出遗传密码的概念,提出大分子——非周期性晶体作为遗传物质(基因)模型;二是从量子力学的角度论证基因的持久性和遗传模式的长期稳定性的可能性;三是提出生命“以负熵为生”,从环境中抽取“序”来维持系统的组织的概念,这是生命的热力学基础^[1]。

有机体内部秩序的增加远远超过由于热量散失到环境中而导致生物体外部的紊乱。通过这种机制,遵循热力学第二

定律,生命保持高度有序的状态。例如,植物吸收阳光,用它来制造糖分,并射出红外光,这是一种不那么集中的能量形式。在这个过程中,宇宙的整体熵增加。高度有序的结构植物不会腐烂,植物的智慧在这个稳定过程中自然显现。

5.2 生命为什么存在

一个深刻而古老的问题是“宇宙中生命的出现是不可能发生的事件,还是不可避免的事件?”换句话说,生命是由上帝或神创造的,是偶然发生的,还是自然现象的可预测和不可避免的结果?关于这个问题,已经争论了很长时间,至今没有定论。但人们至少有一个确认的事实,就是组成生命的化学物质中,没有特殊的元素。无论是鲜花还是人参,蚂蚁还是大象,抑或是普通人或爱因斯坦,构成生命的基本化学元素都是碳、氢、氧、氮这四种,还需要一点点其他元素,主要是磷、硫、钙和铁。

有些科学家认为,如果地球回到最初的原点,重新演化地球生命的历史,将会产生截然不同的新物种;然而反对者认为,生命的演化在很大程度上是地球条件发展到一定阶段的产物,虽然有所差异,但是相差不会太大。

5.2.1 化学进化学说

有些人认为地球上的生命是一个偶然发生的事件,它是由一束闪电在原始混沌汤中发生分子碰撞而产生的。生命起源于原始地球条件下从无机到有机、从简单到复杂的一系列化学进化过程。

该假设基于达尔文进化论是自然界中唯一的适应方式,其复杂性和多样性可以通过随机基因突变和自然选择来解释。由于适应性变化需要基因,生命的出现一定是偶然的结果,而不是进化过程。

蛋白质和核酸等生物分子是生命的物质基础。这些生命物质的起源对于生命的起源至关重要。该假设认为在没有生命的原始地球上,由于自然的原因,非生命物质由于化学作用,产生出有机物和生物分子。因此,生命起源问题首先是原始有机物的起源问题和这些有机物的早期演化。在化学进化的过程中,先造就一类化学材料,然后这些化学材料构成了氨基酸、糖等通用的“结构单元”,蛋白质和核酸等生命物质就来自这些“结构单元”的各种组合。

1922年,生物化学家亚历山大·伊万诺维奇·奥巴林(Alexander Ivanovich Oparin)提出了一种化学进化的假

说^[2]。他认为原始地球上的某些无机物,在来自太阳辐射、闪电能量的作用下,变成了第一批有机分子。他提出,在原始“营养汤”中,多肽、多核苷酸和蛋白质等大分子会凝聚成团聚体,这些浸在盐类和有机物中的团聚体可以和外界环境不断进行能量和物质的交换,通过“自然选择”,新陈代谢的催化设备日臻完善,核苷酸和多肽之间的密码关系逐步确立,最后由量的积累发生质的飞跃,诞生生命。

1953年,美国学者斯坦利·劳埃德·米勒(Stanley Lloyd Miller)进行了模拟实验,首次用实验验证了奥巴林的这一假说^[3]。米勒模拟原始地球上当时的大气成分,用氢、甲烷、氨和水蒸气等,通过火花放电和加热,合成了有机分子氨基酸。继米勒实验之后,许多模拟原始地球大气条件的实验又合成出了其他组成生命体的重要生物分子,如嘌呤、嘧啶、脱氧核糖、核糖、核苷、核苷酸、脂肪酸、叶琳和脂质等。

1965年和1981年,我国在世界上首次人工合成出了胰岛素和酵母丙氨酸转移核糖核酸^[4]。蛋白质和核酸的形成是由无生命到有生命的转折点。一般说来,生命的化学进化过程包括四个阶段:从无机小分子生成有机小分子,从有机小分子形成有机大分子,从有机大分子组成能自我维持稳定和发展的多分子体系,从多分子体系演变为原始生命。

化学进化学说不能很好解释的一个难题是:在生命起源

前的原始地球环境里,自然界如何把从生物小分子(氨基酸、核苷酸)变成生物大分子(蛋白质、核酸)?正如《生命起源的奥秘:再评目前各家理论》(*The Mystery of Life's Origin: Reassessing Current Theories*)指出:“我们在合成氨基酸方面的成就有目共睹,但合成蛋白质和DNA却始终失败,两者形成了强烈的对照”。科学发展到今天,虽然我们能以极大的效率在实验室利用机器合成出需要的生物大分子,但是在生命起源前环境里的合成实验却很难成功^[5]。

5.2.2 生命产生不可避免学说

与化学进化学说相反的观点,称为“生命产生不可避免学说”,该学说假设存在一些因素,原子和分子的随机运动受到限制,从而不可避免地保证了在条件允许的情况下生命的出现。生物系统之所以能够出现,是因为它们能够更有效地传播或耗散能量,从而增加宇宙的熵,使宇宙更加稳定。这个过程类似于第4章描述的化学中的“秩序从混沌中产生”现象。

1995年,诺贝尔奖得主生物学家克里斯汀·德·迪夫(Christian René de Duve)在其著作《生命尘埃——地球生命起源和进化》(*Vital Dust — The Origin and Evolution of Life on Earth*)中提出了这一观点。他在大胆的推测中展示了地

球上令人敬畏的生命全景,从第一个生物分子到人类思想的出现和物种的未来。他在书中反对生命起源于一系列意外的观点,也没有援引上帝、目标导向的原因或活力论,后者将生物视为由生命精神激发的物质。相反地,在生物化学、古生物学、进化生物学、遗传学和生态学的非凡综合中,他主张一个有意义的宇宙,其中生命和思想因为当时的条件不可避免地和确定性地出现^[6]。从一个单细胞生物开始(类似于现代细菌),3.8 亿年的时间里,地球上出现了所有形式的生命。他描绘了七个连续的时代,对应于日益复杂的程度。他预测物种可能会进化成一个“人类蜂巢”或行星超有机体,在这个社会中,个人会为了所有人的利益而放弃一些自由;或者,他设想人类会被另一个智能物种取代。这本书出版后,圣达菲研究所和麻省理工学院研究生命起源的科学家们认为,他的立场应该被人接受。

2016 年,埃里克·史密斯(Eric Smith)和阿罗德·莫罗维茨(Harold J. Morowitz)在他们的书中提出,地球上的生命最初出现是由于无生命物质受到地球地热活动产生的能量流的驱动,类似于火山和地球内部发生的能量流^[7]。生命是自由能积累的必然结果,大概是在海洋中的热液喷口等区域。生命形成了一种渠道,就像水流下山一样自然,通过更有效的消散来缓解能量失衡。就像下山的水在山坡上雕刻的通道随

着时间的推移逐渐变深一样,由能量流动雕刻的代谢途径也得到了加强。生物只是大自然更有效的消散能量、缓解能量失衡、增加宇宙熵从而稳定宇宙的方式。

导致生命的自组织过程涉及一系列“相变”,而不是单个步骤。相变是系统结构整体安排的整体变化。我们可以把人类认知革命的出现想象成一个相变,其中智人(人类的祖先)与其他动物区别开来。随着一系列的相变,生物有了更复杂的排列,特别是那些能更好地释放自由能和稳定宇宙的安排。

麻省理工学院的杰里米·英格兰(Jeremy England)教授和他的团队以同样的“不可避免的生命”学派概述了一个基本的进化过程,称为“耗散适应”,其灵感来自普里高津的基础工作。在他们的论文^[8,9]中,他们确切地展示了一个简单的无生命分子系统(与生命出现之前存在于地球上的分子系统相似)如何重新组织成一个统一的结构,当无生命分子系统受到撞击时表现得像一个活的有机体。这是因为系统必须耗散所有能量以缓解能量不平衡。通过化学反应代谢能量以发挥功能的生物系统提供了一种有效的方法来做这一点。他们学生的模拟结果直观地描述了当能量流过物质时,这样一个复杂的系统是如何从简单的分子中产生的。这很像在排水槽中不可避免地出现的漩涡。

虽然英格兰的研究使用了模拟,但实际使用物理材料的实验证明了相同的现象。2013年,日本的科学家的研究表明,简单地将光(能量流)照射在一组银纳米粒子上,就可以使它们组装成更有序的结构,从而可以有效地从光中耗散更多的能量^[10]。2015年,另一个实验证明了宏观世界中的类似现象^[11]。当导电珠放入油中并受到来自电极的电压冲击时,这些导电珠形成了复杂的集体结构,具有“蠕虫状运动”,只要能量流过系统,这种运动就会持续存在。作者评论说,该系统“表现出如下特性”类似于“我们在生物体中观察到的那些”。换句话说,在适当的条件下,用能量撞击一个无序的系统将导致该系统自组织并获得与生命相关的属性。

这种趋势不仅可以解释生物的内部秩序,还可以解释许多无生命结构的内部秩序。雪花、沙丘和湍流漩涡都有一个共同点,即它们都具有某种耗散过程驱动的多粒子系统中出现的引人注目的图案结构。

5.2.3 自我复制

自我复制(或自我繁殖)是生命的另一个显著特征,它推动着地球上生命的进化。这个特征也可以用“不可避免的生命”假设来解释。随着时间的推移消耗更多能量的一个好方

法是制作更多自己的副本。

科学家们已经观察到非生物的自我复制。加州大学伯克利分校的菲利普·马库斯(Philip Marcus)及其团队在《物理评论快报》中报道,湍流流体中的涡旋会自发地发生通过从周围流体的剪切力中汲取能量来复制自己^[12]。哈佛大学的迈克尔·布伦纳(Michael Brenner)和他的合作者展示了自我复制的微观结构的理论模型^[13],这些特殊涂层的微球簇通过将附近的球体缠绕成相同的簇来耗散能量。

基于生物和非生物都可以有内在的秩序并且可以自我复制的事实,我们可以看到生物和非生物之间的区别并不明显,所有这些都只是有助于稳定宇宙。

5.2.4 分形几何结构

为了有效地稳定宇宙,智能自然会产生。生物系统中最令人惊奇的结构之一是分形几何。客观自然界的许多自然和生物系统中具有自相似的“层次”结构,在一些理想的情况下,甚至具有无穷层次。当适当放大或缩小事物的几何尺寸时,整个层次的结构并不改变。不少复杂的物理、化学和生物现象,背后反映着这类层次结构的分形几何学。分形几何出现在需要效率的自然和生物系统中,例如毛细血管网络、肺泡结

构、大脑表面积、穗状花序或树上叶子的分枝模式。

分形对象是复杂的结构,使用简单的程序构建,涉及的信息很少。对于生物来说,这具有明显的利益,因为它们必须通过最经济的方式实现最有效的结构,以实现多个目标^[14]。令人惊讶的是,可以开发基于分形几何算法的数学函数来模拟它们。

一个很好的分形几何的例子是罗马花椰菜,如图 5.1 所示,这是一件复杂的艺术作品和数学奇迹。整个头部由模仿较大头部形状的较小头部组成,而每个较小的头部又由更小的、相似的头部组成。它继续前进,前进,前进……花椰菜呈



图 5.1 罗马花椰菜的分形结构

现出一种不同寻常的器官排列方式,多个层级的许多螺旋状组织嵌套在一起。

1975年,数学家贝努瓦·曼德博(Benoit B. Mandelbrot)提出了“分形”这个词^[15]。描述分形的最好方法是考虑它的复杂性,分形是无论放大或缩小多少,形状都保持相同的复杂性。分形几何学是一门以不规则几何形态为研究对象的几何学。简单地说,分形就是研究无限复杂具备自相似结构的几何学。

在传统几何学中,我们研究对象为整数维数,比如,零维的点、一维的线、二维的面、三维的立体乃至四维的时空。相比之下,分形几何学的研究对象为非负实数维数,如0.83、1.58、2.72(参见康托尔集)。因为它的研究对象普遍存在于自然界中,因此分形几何学又被称为“大自然的几何学”。分形几何是大自然复杂表面下的内在数学秩序。

数学意义上分形的生成基于一个不断迭代的方程式,即一种基于递归的反馈系统。分形有几种类型,可以分别依据表现出的精确自相似性、半自相似性和统计自相似性来定义。虽然分形是一个数学构造,但是它同样可以在自然界中被找到,这使得它被划入艺术作品的范畴。分形在医学、土力学、地震学和技术分析中都有应用。

5.3 微生物的智能

5.3.1 微生物

微生物是肉眼难以看清,需要借助光学显微镜或电子显微镜才能观察到的一切微小生物的总称。微生物包括细菌、病毒、真菌和少数藻类等。因为不同的环境所致,它们形态各异。宇宙中的生物,第一个出现的便是微生物,有了它们,才有了后面的植物、动物乃至现在的人类。可就算是有了人类,它们也并没有就此灭绝。

微生物从一开始的原核生物,进化到后来的真核生物,从没细胞核,进化到有细胞核。微生物结构简单,通过分裂繁殖,极其迅速。有些微生物一天内甚至可以繁殖几十代,它们代谢也很快。正是这种惊人的繁殖速度,还有低要求的生存状态,导致微生物得以活到现在且在地球上无处不在。

微生物对人类影响之一是导致传染病的流行。在人类的疾病中,有很多是由病毒引起的。微生物导致人类疾病的历史,也就是人类与之不断斗争的历史。虽然在微生物导致疾

病的预防和治疗方面,人类取得了长足的进展,但是新现和再现的微生物感染还是不断发生。至今,大量的病毒性疾病一直缺乏有效的治疗药物。人类对一些疾病的致病机制并不清楚。大量的广谱抗生素的滥用造成了强大的选择压力,使许多菌株发生变异,导致耐药性增强,人类健康受到新的威胁。一些分节段的病毒之间可以通过重组或重配发生变异,最典型的例子就是 2020 年年初开始全球流行的新型冠状病毒。人们所认为不“智能”的病毒,却夺走了超过 600 万“智能人类”的生命(截至 2022 年 3 月)。

5.3.2 智能的黏菌

微生物非常智能。例如,黏菌(slime mold)作为一种单细胞生物,它们表现出来的智慧让人难以想象。普林斯顿大学的约翰·泰勒·邦纳(John Tyler Bonner)曾这样评价黏菌,“只不过是包裹在薄薄的黏液鞘中的一袋变形虫,但它们却有与拥有肌肉和神经的动物(即简单的大脑)相同的各种行为。”它们不但会走迷宫,有学习能力,甚至还能模拟人造交通网络布局。而这一切,竟全都建立在黏菌没有神经系统、没有大脑的前提下。

黏菌的智能首先得到人们的关注,是从一个著名的黏菌

迷宫实验开始的。2000年,日本仲垣(Nakagaki)等科学家们设置了这么一个有趣的实验^[16]。他们将黏菌培养在一个在普通迷宫中,在迷宫的起点和终点处,都放了一些黏菌们最喜爱的食物燕麦。在迷宫中,一共有4条长短不一的路线,可以连接到这两个燕麦食物源。

在实验开始,研究人员发现黏菌会伸展自己的细胞质,覆盖住几乎整个迷宫平面。而在复杂的迷宫里面,完全没能阻碍它们的智能。只要黏菌发现了食物,它们就开始慢慢缩回多余的部分,最后只剩下最短的路径。

在实验中,黏菌们都像商量好了似的,总是毫不犹豫地选出那条消耗体力最少、又能获得食物的道路。

如果你觉得黏菌会走迷宫还不算厉害,它们还有更强的智能。比走迷宫复杂上无数倍的路况,都难不倒它们找出“最优解”。

2004年,研究人员在上面这个实验基础上,设计了一个新的实验来考验黏菌。在新的实验中,研究人员在平面上随机放置多个食物源,考验黏菌是否还能找出觅食多个食物源的最优路径。在这个问题中,关键是应该建立怎么样的线路,才能确保消耗最少的能量,又能吃全这些燕麦呢?最终,黏菌果然不负众望。它们连接各点所形成的网络,几乎就是工程里的最佳化路径。

别以为找到最佳化路径很简单,这个问题可蕴含着极其复杂的组合优化问题,并且问题的复杂程度随着节点数的增加以指数形式增加。不难想象,在现实世界中设计一个交通网络到底得有多困难,但是黏菌真正厉害的地方是,它们能综合考虑各方面的情况,它们找到的路径不是最短的,而是最优的。

有了上面两个实验,研究人员进一步想能否让黏菌设计更加复杂的网络,整个日本东京地区的铁路网!

我们知道,东京地区的铁路系统是世界上最高效且布局最合理的铁路系统之一。工程技术人员花费了大量的人力物力才设计出来。然而黏菌这种根本没有神经系统、没有脑袋的单细胞生物,只需要几十小时疯狂生长,就能重复工程技术人员几十年的心血。

在这个实验中,研究人员依照东京地区的地形轮廓打造出了一个平面容器。此外,根据黏菌的避光特性,用光照来模拟周围的地形和海岸线,用以限制黏菌的活动范围。因为真实的铁路网络,会受到地形、山丘、湖泊和其他障碍物的阻碍。然后,研究人员把一块最大的燕麦投放在容器中央,用这块燕麦代表东京站的位置。其他的 35 块小块燕麦,则被分散地放在容器内。这些小燕麦对应东京铁路系统中的 35 个车站,如图 5.2 和图 5.3 所示。

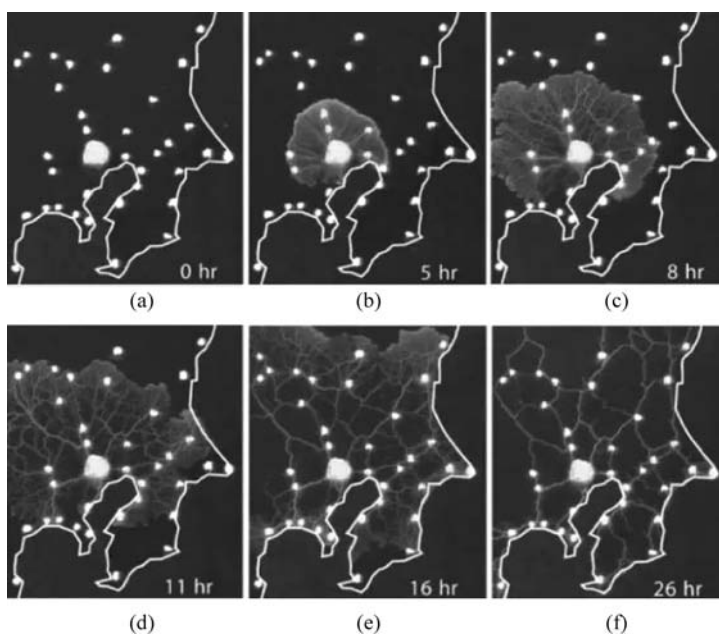


图 5.2 由黏菌设计的日本东京地区铁路网

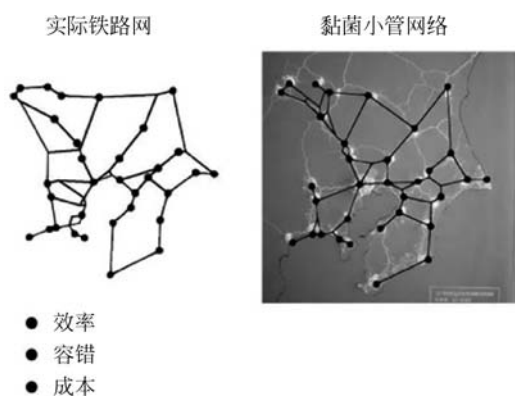


图 5.3 黏菌形成的东京铁路网络

在实验开始时,黏菌会尽量铺满容器的平面,以此来对新的领域加以探索。经过十几个小时不断地探索优化后,黏菌仿佛略有所悟一样,开始优化布局。链接燕麦之间的管道会不断强化,而一些对链接用途不大的管道则会逐渐缩回消失。大约过了 26 个小时不断地探索优化后,这些黏菌就形成了一个与东京地区铁路网络高度相似的网络。黏菌形成的网络简直就是东京铁路的翻版,甚至比真实的东京铁路更富有弹性^[17]。

来自西英格兰大学的安德鲁·阿达马茨基(Andrew Adamatzky)和他在世界各地的同事在 14 个地理区域(澳大利亚、非洲、比利时、巴西、加拿大、中国、德国、伊比利亚、意大利、马来西亚、墨西哥、荷兰、英国和美国^[18])的高速公路做实验,得出了相似的结论。

更令人不可思议的是,黏菌形成的网络还具有高效的自我修复性。比如,只要将其中一个食物源拿掉,整个网络将会根据之前的“最优化”原则重新排布。

无脑、无神经的黏菌究竟是怎样完成这个智能性网络的,至今仍然是一个未解之谜。正因为“无脑”却又表现出的智慧,人们猜想这会不会是打开未来人工智能大门关键的一把钥匙。

5.3.3 顽强的微生物

研究人员发现,同一种微生物会在它们的生存受到威胁时相互“提醒沟通”。哈佛大学时间生物学奠基人之一约翰·伍德兰·黑斯廷斯(John Woodland Hastings)提出,如果可以操控这些微生物之间的信息传递,可以减缓微生物感染的速度。这样不仅使病患可以更快痊愈,而且不会让细菌产生抗体。

伊利诺伊大学的生物化学教授萨蒂什·奈尔(Satish Nair)的研究团队认为,“细菌是非常智慧的生物,它们可以在任何地方生存,并能飞快地适应新环境。”比如,结肠炎耶尔森杆菌,作为一种食源性病毒可以通过化学信号来沟通,一旦周围环境发生改变,它们就可以一起做出反应来应对。研究人员们正在想办法通过这些化学信号来对抗细菌感染。

另外一种对抗细菌感染的方法是让一种微生物杀死另一种微生物。英国细菌学家、生物化学家、微生物学家亚历山大·弗莱明(Alexander Fleming)在1928发现了青霉素,后英国病理学家霍华德·弗劳雷(Howard Florey)、德国生物化学家恩斯特·伯利斯·钱恩(Ernst Boris Chain)进一步研究改进,并成功用于医治人的疾病,三人共获诺贝尔生理学或医学

奖。青霉素的发现,使人类找到了一种具有强大杀死细菌作用的药物,结束了细菌传染病几乎无法治疗的时代。青霉素的发现也掀起了寻找抗生素新药的高潮,从此人类进入了合成新药的新时代。此后,各种各样的抗生素被研制出来,掀起一场场“屠杀”细菌的大战。抗生素通过各种手段破坏细菌的繁殖与生长能力,让它们不能在人类中造成疾病。

在现代医疗中,我们一直在使用抗生素。无奈的是,细菌的智能之处就在于它们可以很快适应抗生素。所以抗生素使用多次之后,细菌就对它免疫了。

奈尔曾说过,通常来讲,几乎每种细菌都会对至少一种抗生素免疫。研究者发现了一些可以阻挡所有已知抗生素的“超级细菌”。这种细菌可以迅速出现抗药性,因为它们把自己已经免疫的抗生素用化学信号“通知”别的细菌,这样使得同一片细菌都产生了抗药性,这也就是它们成为“超级细菌”的原因。

有些研究者认为,广谱抗生素和滥用抗生素的行为实际上是不科学的,因为抗生素不分好坏,会将好的细菌一并杀死,且存活下来的细菌会对抗生素产生抗体,并且把抗体传递给其他的细菌。如此看来,杀死细菌的方式只会催生更强大的细菌。

作为被人们认为不“智能”的“最低级”的生命体,微生物

为什么会有这么高的“智能”，在地球上存在 40 多亿年？从推动宇宙趋向稳定的方面来考虑，这个问题不难理解。微生物所做的一切都是未来最大化自己的生存机会和最大化自己的后代。更多的后代会使熵产生更多。第 4 章提到，熵越大，意味着发生的可能性越大，即对应更稳定的状态。如此看来，微生物的智能，只不过是其推动宇宙趋向稳定的过程中应运而生的产物。

5.4 植物的智能

1880 年，达尔文提出了第一个现代植物智能概念。在“植物运动的力量”中，他得出结论，植物的根部具有“指导相邻部分运动的力量”，因此“就像一种低等动物的大脑，大脑位于身体的前端，接收来自感觉器官的印象并指挥几个动作。”

5.4.1 发达的感官系统

植物虽然没有眼睛，但它却能察觉到光。植物虽然没有鼻子，但它能闻到气味。在我们的日常生活中，催熟水果是人们熟悉的一个技巧，把成熟的苹果或者香蕉和坚硬的鳄梨或

者猕猴桃放在一起,它们也会很快变得成熟。这背后是因为未成熟的水果嗅到了成熟果实散发在空气中的乙烯。

20 世纪 30 年代,剑桥大学的理查德·盖因(Richard Gein)通过实验证明,在成熟苹果周围的空气中含有乙烯。康奈尔大学的博伊斯·汤普逊(Boyce Thompson)研究提出,乙烯是一种使果实成熟的通用植物激素。这种激素保证了一棵植物的果实同时成熟。

除了视觉、嗅觉,植物还拥有味觉、触觉。动物用舌头品尝食物,植物的根也会在土壤中寻找自己需要的微量元素,比如磷酸盐、硝酸盐和钾。而诸如捕蝇草、猪笼草等食虫植物之所以存在,也是因为对于氮的需求。食虫植物散发芬芳甜蜜的物质来诱捕猎物,得手后通过制造酶来分解营养物质,并且使叶子吸收,进而代谢掉捕捉到的动物。这个过程中触觉发挥了重要作用。

植物与植物之间也要互相沟通。例如,很多人喜欢修建草坪时的气味,实际上构成这些气味的挥发物正是草的报警信号,“表明这片叶子已经遭到了外力(在自然界中常常是昆虫)的侵害,因此要通知邻近的草叶赶快合成一些防御性化学物质。这就是植物间通信的一种方式,可以认为是植物智能的一种体现”。

与动物的神经系统类似,植物可以通过地下真菌网络共

享水分和养分来相互交流,通过真菌网络向其他树木发送化学信号,提醒它们注意危险。此外,植物可以通过气体和信息素发出信号。例如,当动物开始咀嚼植物的叶子时,植物可以将乙烯气体释放到土壤中,通知其他植物,然后附近的植物可以将单宁发送到叶子中,因此也许能够毒害冒犯的动物。

5.4.2 智能决策

说起植物的智能,很多人都会想到能“吃虫子”的捕蝇草,如图 5.4 所示。它是原产于北美洲的一种多年生草本植物。捕蝇草是一种非常有意思的食虫植物,它在叶的顶端长有一个像“贝壳”一样的捕虫夹,且能分泌蜜汁,当有小虫闯入时,能以极快的速度将其夹住,并把小虫吃掉,消化吸收。

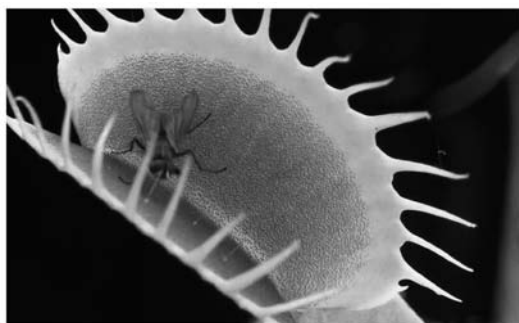


图 5.4 能“吃虫子”的捕蝇草

捕蝇草每次合拢都需要耗费大量能量,如果抓到的猎物太小,吃到的肉没有消耗的多,就算抓住了也得不偿失。为了实现智能决策,捕蝇草能记住自己之前所受的刺激,甚至还能“读秒”。捕蝇草叶片边缘会有规则状的刺毛,就像人的睫毛一般。智能的捕蝇草不会为了从它身边飘落的树叶就草率地关闭夹子。它的触发毛中如果有两根在大约 20 秒内被物体触动,叶片就会闭合,也就是说它要记住此前有一根被触动过,并开始记秒数。捕蝇草还能记住触发毛被触发的次数。抓住猎物之后,捕蝇草会在触发毛被触动 5 次以后开始分泌消化液。

并不只有能快速反应的植物才能做出聪明的决策,其实所有植物都会对周围的环境变化做出回应。它们每时每刻都在生理和分子水平上做决策。在烈日炎炎的缺水环境下,植物几乎会立即关闭气孔,阻止叶面上这些微小的气孔让水分流失。但这种反应是否真的称得上“聪明”?

玉米、烟草和棉花遭到毛毛虫啃食时,它们会产生化学物质吸引寄生类黄蜂前来。寄生类黄蜂会将自己的卵放入啃食植株的毛毛虫体内,然后毛毛虫将死去,并养活黄蜂的幼虫。

锤兰这种花会模仿雌性黄蜂的外表和气味,以欺骗雄性黄蜂来给自己授粉。一旦雄性黄蜂来到,锤兰就会“诱捕”它,

然后黄蜂全身会沾满花粉，并传播给另一朵花。

植物智能超越了适应和反应，进入了主动记忆和决策领域。1973年畅销书《植物的秘密生活》由彼得·汤普金斯(Peter Tompkins)和克里斯托弗·伯德(Christopher Bird)撰写，书中提出了一些疯狂的主张，例如植物可以“读懂人的思想”“感受压力”和“挑剔”植物杀手。

西澳大利亚大学进化生态学副教授莫妮卡·加利亚诺(Monica Gagliano)对盆栽含羞草(*Mimosa pudica*)做了一些有趣的实验。含羞草通常被称为“羞耻植物”，它的叶子受到干扰时会向内折叠。理论上，它会防御任何攻击，不分青红皂白地将任何接触或跌落视为进攻并关闭自己。加利亚诺在2014年发表了一项研究，称羞耻植物“记住了”它们从这么低的高度掉下来实际上并不危险，并意识到它们不需要保护自己。加利亚诺认为她的实验有助于证明“大脑和神经元是一种复杂的解决方案，但不是学习的必要条件。”她相信植物正在学习和记忆。相比之下，蜜蜂在几天后就会忘记它们学到的东西，而羞耻植物则记住了近一个月^[19]。

如果植物可以“学习”“记忆”“交流”，那么人类可能误解了植物和人类自身。我们必须重新审视对智能的常见理解。

5.5 动物的智能

长期以来,人类都认为自己是唯一具有智能的物种。即使我们承认其他动物物种有智能,也是把人类从整个动物界隔离了出来。荷兰著名的心理学家、动物学家和生态学家灵长类动物学者弗朗斯·德瓦尔(Frans De Waal)在《万智有灵》这本书中描述了各种各样动物的智慧^[20]。

5.5.1 使用工具

能够使用工具被认为是人类特有的智能表现。但是有些动物也能够制造工具和使用工具。研究发现,在刚果共和国的一种黑猩猩会带着长度不同的两根枝条去猎食。其中一根枝条是个大约1米长的结实木棍,另一根则是非常柔韧的草茎。如图5.5所示,在猎食蚂蚁的过程中,黑猩猩会把长木棍当作铁锹来用,挖出一个洞通往蚂蚁巢穴,然后再将另外一根柔韧的草茎探入蚂蚁洞中,把草茎作为诱饵,蚂蚁咬住草茎,然后黑猩猩就像钓鱼一样把咬住草茎的蚂蚁拽出来并吃掉。这种动物使用工具组合的现象是极为常见的。所以说使用工

具并不是人类特有的智能。



图 5.5 会使用工具的黑猩猩

有些动物在使用工具的过程中,甚至还会在头脑中预演使用工具未来的状况,然后根据预演的状况,做出有效的行动计划。动物学家在一个实验中,把花生放在一个位置固定的细管中。动物要想得到花生,就必须用一个东西把花生从管子里面顶出来。在实验中,实验人员为僧帽猴准备了各种工具,包括长棍、短棍和柔韧的橡胶。经过很多次错误的尝试之后,僧帽猴最终选择了长棍,用长棍把花生从管子里面顶出来。

动物学家在后面的实验中增加了难度,在管子的中间增加了一个洞,如果僧帽猴用工具推动花生的方向不对,花生就会掉到一个罐子里面,僧帽猴就会拿不到花生。经过一系列失败的尝试之后,僧帽猴发现了这个新的实验规律,用长棍从

正确的方向上推动花生,最终成功拿到花生。这个实验并不容易,把同样的实验交给人类的幼童来做,只有在3岁之后的人类幼童才能成功拿到花生。

黑猩猩同样参与了这个实验,令人惊奇的是,它们不需要像僧帽猴那样反复试错,经过思考就可以直接成功得到花生。

不仅是哺乳动物,就连爬行动物、鸟类,甚至无脊椎动物中也有使用工具的案例。新喀里多尼亚乌鸦同样可以组合使用工具。在一项有趣的实验中,需要先用短棍拿到长棍,再用长棍去获取食物。7只乌鸦中有3只在第一次尝试时就成功地完成了任务。在另外一个实验中,聪明的短吻鳄会制作一个陷阱,它们用漂浮的树枝吸引水鸟在树枝上休息,然后它们在水下发起伏击。如果水中的树枝很少,它们就去远处挑选树枝来制作陷阱。在印度尼西亚海域的一种椰子章鱼,会聪明地将椰子壳捧回家,然后作为自己的掩体,在海底安全移动。

5.5.2 动物语言和社交

有人认为使用语言是人特有的天赋。但是,许多动物也可以使用语言表达自己的想法。最常见的例子就是鹦鹉学舌,而且有些鹦鹉已经聪明到能够使用不同的词汇,这说明鹦

鹉能够将想法和语言连接在一起。

在海洋中，海豚同样也是会使用语言、充满智慧的生物。海豚中的每个成员都有属于自己的特色语言，这是一种频率很高的哨音，幼年的海豚在1岁时就能发出这种哨音，从此就可以标明自己的特定身份。有些时候，这些哨音还会被其他海豚模仿，如果被呼唤的海豚听到了，它确实会做出回应。这个案例说明，动物也会给彼此起名字，建立起自己的社交网络。

在动物们的社交网络中，还会有像人类社交网络中相似的衍生文化现象。科研人员发现，在黑猩猩的社交网络中有很多互动行为，包括文化传播行为，最终让整个群体表现出有别于其他群体的行为特征。它们甚至会发明一些被称为“时尚”的行为，也就是一种流行的动作或游戏。

一个在人工饲养状态下的黑猩猩群，它们不断地变换着自己的“时尚”行为。在某一个时间段内，这群黑猩猩会排成一行纵队，踩着同样的节拍绕着一根柱子一圈又一圈地小跑，一只脚轻轻落下，另外一只脚则重重踩下，同时摇头晃脑，如同跳舞一样。在另外一个测试中，实验人员会与黑猩猩玩一些需要智力的游戏，如果重复玩同一种游戏，会使黑猩猩走神，它们会感到无聊，并且试图与实验人员换个游戏。

参考文献

- [1] Schrodinger E. What is Life? The physical aspect of the living cell[J]. American Naturalist,1967,1(785): 25-41.
- [2] Oparin A I. The origin of life[M]. London: Weidenfeld & Nicolson,1967: 199-234.
- [3] Miller S L. A production of amino acids under possible primitive earth conditions[J]. Science,1953,117(117): 528-529.
- [4] 胡永畅,蒋成城,陈常庆,等. 全合成胰岛素和丙氨酸转移核糖核酸的决策和组织[J]. 生命科学,2015,27(6): 7.
- [5] Thaxton C B,Bradley W L,Olsen R L. The mystery of life's origin: reassessing current theories[J]. Biochemical Society Transactions,1984,13(4): 797-798.
- [6] de Duve C. Vital Dust: The origin and evolution of life on earth[M]. Basic Books,1995.
- [7] Smith E,Morowitz H J. The origin and nature of life on earth: the emergence of the fourth geosphere[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2016.
- [8] Kachman T,Owen J A,England,J L. Self-organized resonance during search of a diverse chemical space[J]. Physical Review Letters,2017,119(3): 38-41.
- [9] Horowitz J M, England J L. Spontaneous fine-tuning to environment in many-species chemical reaction networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017,

114(29): 7565-7570.

- [10] Ito S, Yamauchi H, Tamura M, et al. Selective optical assembly of highly uniform nanoparticles by doughnut-shaped beams[J]. Scientific Reports, 2013, 3(1): 1-8.
- [11] Kondepudi D, Kay B, Dixon J. End-directed evolution and the emergence of energy-seeking behavior in a complex system[J]. Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics, 2015, 91(5): 050902.
- [12] Marcus P S, Pei S, Jiang C H, et al. Three-dimensional vortices generated by self-replication in stably stratified rotating shear flows[J]. Physical Review Letters, 2013, 111(8): 697-711.
- [13] Zeravcic Z, Brenner M P. Self-replicating colloidal clusters[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(5): 1748-1753.
- [14] Calkins J. Fractal geometry and its correlation to the efficiency of biological structures[J]. Honors Projects, 2013: 205-208.
- [15] Mandelbrot B. The fractal geometry of nature[M]. New York: W H Freeman, 1982.
- [16] Nakagaki T, Yamada H, Tóth Á. Maze-solving by an amoeboid organism[J]. Nature, 2000, 407: 470.
- [17] Tero A, Takagi S, Saigusa T, et al. Rules for biologically inspired adaptive network design[J]. Science, 2010, 327 (5964): 439-442.
- [18] Adamatzky A, Akl S, Alonso-Sanz R, et al. Are motorways rational from slime mould's point of view? [J]. International Journal of Parallel Emergent and Distributed Systems, 2012, 28(3): 230-248.

- [19] Gagliano M, Renton M, Depczynski M, et al. Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters[J]. *Oecologia*, 2014, 175(1): 63-72.
- [20] de Waal F. Are we smart enough to know how smart animals are?[M]. WW Norton & Company, 2016.