

第一章 保持生物简单

放大了世界的荷兰人^①

正如我们（或我们中的大多数）所知道的那样，生命是大而复杂的。人类是这样；在我们周围（农场、花园和房屋四周）所熟悉的生命类型，在大小和复杂性上，也与我们相仿。一些我们熟悉的生命形式，乍看起来似乎很简单，但研究表明，它们其实很复杂。比如一只蝴蝶，从外表看也许很简单，可它的内部结构却几乎和我们人类一样复杂。蝴蝶的行为比我们简单，但它的生长方式绝对超乎我们的想象。蝴蝶是变态的毛毛虫，可毛毛虫看起来更像蠕虫，而不像其振翅飞翔的成虫。相比之下，成人只不过是一个长大了的儿童而已。因而完全有理由把蝴蝶看成是一种复杂生命形式，就像我们能见到的周围所有其他生命形式一样。

由于对复杂生命已经司空见惯，所以我们就把生命的复杂性看做理所当然了。人类自开始思考以来就一直在问：为什么会存在生命？但直到最近才有人提出，假如生命确实存在，它为什么一定要进化得越来越复杂呢？本章我将基于四点理由阐释我们为

荷兰生物学家和显微镜学家列文虎克（1632~1723）一生磨制了400多块透镜，最早用透镜观察细菌和原生动物，发现精子、血红细胞和水中微生物。——译者注

什么不能把生命的复杂性看做理所当然。的确，总的来看，人们几乎总是认为：问题不只在于生命的存在，更在于生命的复杂性。（不把生命的复杂性看做理所当然的）第一个理由是，我们周围的司空见惯的生物是全部生物的一个有偏样本。大多数与我们共享这个星球的生命形式都非常微小，比我们肉眼能看到的最简单的生物还要简单得多。作为人类最重大的发现之一，这些微小生物的发现应归功于显微镜的发明。

17世纪后期的光学显微镜用起来远不如现在的这样便利，只有掌握了独特的光学和镜片研磨技巧的人才能充分利用它。当荷兰人安东尼·范·列文虎克（Antoni van Leeuwenhoek，大名鼎鼎的列文虎克）1674年考察距他住处德尔福特两小时路程的伯克斯·米尔湖（Berkelse Mere）时，这个伟大的时刻到来了。他记录说：

我用一个小玻璃瓶取了少量水样，第二天检查时，发现水里漂浮着若干泥土微粒，……除此之外，还有大量微小的生物，有的略呈圆形，有的稍大，呈椭圆形。最后，我看到在这些微小的生物的头的附近有两条小小的腿，身体的最后部位有两个小鳍。还有的微小的生物形状比椭圆更长一些，它们行动缓慢，数量很少。这些微小的生物颜色各异，有的略白而透明；有的带有绿而略微发光的小鳞片；有的中间是绿色，头尾泛白；还有的呈烟灰色。这些微生物在水中大多行动敏捷，变化多端，或上浮，或下沉，或绕圈，其景象奇妙无比。

这三种微小的生物很可能就是博物学家现在所称的轮虫（rotifers）、纤毛虫（ciliates）和眼虫（euglena）。此后的25年，列文虎克打开了一个新的世界，在这个世界里，不仅水中充满了微小的生物，而且精液中也充满了蠕动的精虫，血液中充满了血细胞。颇受启迪的观察家们欣喜万分。蒲柏（Pope）和斯威夫特

(Swift) 以诗句, 艾迪生 (Addison) 以散文迎接这新世界的景象。当时确有必要修正某些神学观; 但同时有可能推出一些好的伦理观。既然列文虎克揭示了以前从不为我们所知的比我们低下的等级, 我们便更可以肯定 (艾迪生推理说), 在我们感官能力之外还有一个上等的等级 (天使、上帝, 等等)。詹姆斯·汤姆森 (James Thomson) 对此更是惊奇不已, 他感激“形成这类天堂的艺术”, 因为这类艺术把那些令人作呕的微小的生物排除在人类的感官系统之外。

.....因为如果人突然看到
自身之外的生物世界,
即便是美味芳香的佳肴, 盛着琼浆玉液的杯盏,
他们也会感到厌恶.....

你开始明白 W·C·菲尔兹 (W. C. Fields) 为什么对水敬而远之了吧。

19世纪, 路易斯·巴斯德 (Louis Pasteur) 的微生物理论进一步拓展了原先封闭的生物世界。他发现的主要微生物是细菌。细菌是单细胞, 这个细胞通常很小, 比列文虎克所描述的微小的生物还要小得多。尽管巴斯德的工作常常是间接进行的, 没有进行直接的显微镜观察, 但他得出的结果仍是令人信服的。只有少数想法古怪的人拒绝被巴斯德化 [拉图尔 (Bruno Latour) 语]。图

蒲柏 (Alexander Pope 1688~1744) 是英国诗人, 斯威夫特 Jonathan Swift 1667~1745) 是英国作家, 艾迪生 (Joseph Addison 1672~1719) 是英国文学评论家。——译者注

詹姆斯·汤姆森 (James Thomson 1700~1748), 苏格兰诗人。——译者注
W·C·菲尔兹 (W. C. Fields 1879~1946), 美国演员, 以擅长讽刺及装腔作势的幽默表演而成为美国最杰出的戏剧演员之一。——译者注
路易斯·巴斯德 (Louis Pasteur 1822~1895), 法国化学家和微生物学家。

——译者注

鲁斯(Toulouse) 的生理学教授普歇(Felix-Archimede Pouchet)¹² 1865年解释说,巴斯德的“微生物理论很荒唐。你何以认为空气¹³中的这些微生物能多到足以形成所有这些有机液呢。假如真是如此,它们的数量会多得足以形成一层密度如铁的浓雾”。但面对下一个世纪微生物的研究成果,他又会作何评价呢?追随巴斯德的那些热衷微生物的探索者们发现了一种又一种的细菌,尔后又发现了比细菌还要小得多的病毒。细菌是单细胞,通常非常小,只有在光学显微镜下有目的地搜寻,才能找到。但病毒只由若干分子构成,因而更小,用光学显微镜也看不到。1883年人们首次推测可能有病毒存在,1935年才最后分离出来。这时电子显微镜已经发明(1932年),即便是病毒也能直接观察了。

新的微生物仍在不断被发现——比如我们本章后面将要谈到的古细菌(Archaea)——但近年最令人瞩目的发现,是微生物惊人的数量和它们占据的环境的范围。病毒和细菌不仅像一层看不见的雾飘浮在空气里,而且还大量存在于土壤和海水之中。从海水表层提取的一升水中含有大约100亿病毒颗粒和10亿个细菌细胞。在陆地的土壤和海底的沉积物下面、地壳深处,活动着无数微生物群落。细菌还深伏于油井中和坚硬的岩石上。即便是看起来不像细菌的生命形式也含有大量细菌。人大肠的平均细菌层虽不及母牛和白蚁的比例高,却也厚达两厘米左右。我们的皮肤上也布满细菌,每平方厘米约有1000~1万个细菌,而腹股沟和腋窝处更是高达100万。人体由大约 10^{14} 个细胞组成并携带着 $10^{13\sim 14}$ 个细菌细胞。从某种意义上说,人体有将近一半的细胞是细菌。佐治亚大学的一群生物学家最近对地球上有多少生命是微生物进行了估算。无论从生物数量上,还是从细胞数量上,抑或是从遗

法国南部城市。——译者注

普歇(Felix-Archimede Pouchet 1800~1872),法国博物学家,生命自然发生说的主要拥护者。——译者注

传多样性方面来看，在我们这个星球上，单细胞和非细胞生物占了绝大多数。它们都是我们肉眼看不见的。凡细菌细胞在大小上都是微不足道的，仅从单个细菌细胞来评价它们的作用可能会出现误导；但如果利用独立于其大小的测度，那么微生物的主体地位就难以动摇了。如今，衡量一个生命的繁盛程度的好测度就是测出这一生命形式的含碳量，结果细菌及相关微生物的碳含量与植物的碳含量相当。可想而知，除了广袤的绿色森林、参天大树、美丽珊瑚和金色田野这个我们肉眼可见的生物世界之外，还有一个同样由生物体构成的我们肉眼看不见的微生物世界。如今微生物学家们对上帝在创世第七天做了什么已得出了自己的结论。

可能的世界

1600年时，哲学—博物学家还很难想象世上存在着不具复杂性的生命形式。所有已知的生命都是复杂的。到了1700年，一些简单的微小的生物被发现了，但它们仍是自然史的稀罕物。如果哲学—博物学家对简单和复杂的生命提出疑问，他其实很可能是对为什么竟有简单生命形式存在提出疑问，而不是对广泛而复杂的大多数现象提出疑问。在这以后的三个世纪里，我们对简单生命形式的科学认识突飞猛进，现在我们懂得，地球上的生命是以微生物占优势的。广泛而复杂的生命形式虽然没被降格到稀罕物的地步，但它们已不再支配我们对生命的认识了。今天的生物学家常提这样的问题：为什么会有复杂生命存在？为什么不是所有的生命都是由单细胞或甚至由无细胞的分子组成的简单生命？

很难弄清地球上的生命特征哪些是必然的，哪些是偶然的。在生命进化的过程中，正如人类历史一样，已经发生的一切就这样发生了——仅凭审视，你是无法评估某一事件的可能性的。没有希特勒，20世纪的历史会是什么样子？这样的问题提出来容易，回答它就不那么容易了，而且当然不能仅凭观察来回答这个

问题。事实上，希特勒在历史上存在过，并做了他所做的一切，这就是我们拥有的所有根据。然而，认为某些历史和进化事件比另一些事件相对来说来具有更大的必然性，这应该是有道理的。理查德·道金斯用他称之为“普遍的达尔文主义”（Universal Darwinsim）解释了这个问题。假如生命在宇宙的其他地方进化，地球上的生命的哪些特征会在那个地方也能找到呢？我在这第一章里提出，那里的生命并不一定会进化成复杂生命。那个星球上很可能居住着与地球上类似的生命群体，且经历了同样漫长的进化历史，但生命形式只是单细胞而已，对此我不会感到惊讶。斯蒂芬·杰·古尔德（Stephen Jay Gould）在提出倘若重蹈进化历程，那么地球上的生命是否会与现在一样这个问题时，表达了与此颇为类似的观点。如果进化过程从生命的起源至今重来一次，地球是跟现在基本一样，还是会大相径庭？这是另一种形式的质疑，进化过程有多少是必然的，有多少是偶然的？用古尔德的话说，如果地球上的生命从它最初的起源至今重新进化一次，当看到经过4亿年的进化以后，地球上仍只有如细菌般的简单生命存在这种景象时，我绝不会感到吃惊。

生命的意义

世界上的非生命物质与生命物质有什么区别呢？历史上一一直有一种观点认为是某种特殊的“活力”作用才给物质带来了生命。这一观点在浪漫主义文学中确实存在——比如在玛丽·雪莱（Mary Shelley）的《弗兰肯斯坦》中；在济慈描绘的彩虹色鳗鱼般的“拉米尔”（Lamia）中；在柯勒律治（Samuel Taylor

玛丽·雪莱，英国小说家，所作《弗兰肯斯坦》被誉为历史上第一部科幻小说。——译者注

济慈（John Keats，1795～1821），英国浪漫诗人。——译者注

Coleridge) 幻想的发光的大海之中——但在科学中，这一观点至少一个世纪前就已过时。研究已经发展到对生命做出新的定义。19、20 世纪的生物学家们试图依据从所有生命中能观察到的特征——比如运动、应激性或新陈代谢等特征——来定义生命。这一定义，根据生物学家识别的特征的不同，有各种不同的具体形式。有趣的是，这些定义为了迎合我们的目的，几乎全把复杂性加进生命的意义之中。运动和新陈代谢这类特征已经很复杂了。但这种方式如今或多或少也遭到排斥。一个原因是我们对简单生命的形式了解得越来越多了，这使得界定地球上生命的共同特征变得困难起来。病毒（或更简单的类病毒）是目前知道的最简单的生命形式，而它们与我们几乎没有任何共同的特征。另一个原因更具有哲学性，那就是没有哪一种特征，比如说运动，对于生命来说是必不可少的。这些特征只是恰巧存在于我们了解的所有生命形式之中。也许地球上的所有生命现在和过去具有这些特征，但在未来的进化中，某一起源于现存的生命，但少了曾是用来定义生命的特征的某一个特征的生物，依然活下来了；那么，不符合生物学的应是定义，而不是生命形式。对现存的所有物种我们只认识其中的一小部分而已，而且很容易在一个物种中发现它缺少了我们曾经定义的生命特征中的某一个特征。这又再次碰到了定义的坏处。

假如我们不能用一种活力来定义生命，也不能用已知的生命形式的共同特征来定义生命，那我们该怎么定义生命呢？比较好的办法是，忽略已知的生物的特征，关注创造生命的条件。生命的存在归功于自然选择，因此一种可能的定义是，通过自然选择能够进化的物质就是生命。如我们能够看到的，为了识别自然选择作用所需要的抽象条件，如能从自然选择的过程的角度去思考的话，我们会看到，这个定义给我们认识生命的复杂性提供了一

柯勒律治（1772~1834），英国湖畔派诗人。——译者注

个相当不同的视角。

在我们周围，在所有物种中，自然选择无处不在。当我们使用药物去除一种病原体，比如人体免疫缺陷病毒（HIV）——后天免疫缺陷综合症（AIDS）病毒时，我们就建立起一种强的选择压，而这种选择压有利于存活下来的病毒；这些病毒的抗药性得到进化。它们确能进化，是因为它们不只是一类个体：例如，有些HIV病毒对药物具有抗性，而另一些HIV病毒类型对药物敏感。在药物存在的条件下，具有抗药性的类型更有可能成活下来，并繁殖自身，其数量在下一代会增多。这种不同类型个体的频率变化（较好适应类型的个体，相对于其他类型的个体，在数量上要增加）是通过自然选择进化的。

自然选择有助于病毒的抗药性，有助于害虫的抗农药性，有助于飞蛾发展新的保护色，有助于鸟的喙的变大变小及人类祖先从四肢运动进化到两足行走，有助于任何生命物种的任何特征的变化。然而，我们需要透过这一过程的抽象进程，观察个体的实例。当以下三个条件满足时，自然选择便发生。首先必须存在变异，即物种必须不止一种个体；其次是不同的种类存活和繁殖的能力不同；第三，子代还必须与他们的亲代相像，如具有抗药性的病毒必须繁殖出具有抗药性的病毒子代。任何满足这三个条件的系统都将通过自然选择而进化。其中第三个条件——遗传——尤其重要。假如抗药性病毒和药物敏感性病毒能同样繁殖出具有抗药性的子代，进化就没有发生。抗药性病毒也许在一代中存活得较好，但如果遗传没有发生，在下一代中抗药性病毒的数量就不会增加。自然选择需要代代相继，在这一过程中，后一代要保持前一代的变化，而这就需要遗传。如果抗药性病毒最初占群体的1%，它们在药物中的优势就可能使它们在繁殖时从1%增加到2%。如果抗药性被遗传下来了，那么这个2%就将是下一代的起点，它在下一代中就可能从2%增长到4%。经过若干代以后，HIV病毒的整个物种就可能会发生转化。但如果抗药性没被遗传，其

频率就不会由最初的1%~2%发生变化。

地球上的生命，子代与其亲代相像，是因为基因——DNA序列（脱氧核糖核酸）——从亲代传给了子代的结果。（我们将在第二章中进一步讨论基因的作用）。子代病毒不只是亲代病毒的DNA的物理复制。[HIV实际使用一种称为RNA的有关分子，而不是DNA分子进行复制。其他病毒使用DNA复制。病毒无论使用RNA还是DNA复制，产生抗药性的能力都是相同的。]在复杂的生命形式中，比如我们人类，亲本的DNA被复制并通过精子和卵子遗传给子代。我们的基因遗传比病毒的基因遗传要复杂得多，但病毒确实也有遗传发生，因为基因被传给了子代。基因也正是同一物种中为什么一个体区别于他个体的原因之一。个体之间基因的DNA序列可能会有细微差别，从而导致这些个体形式上的差异。一些个体的基因可能会为抗药性编制遗传密码，另一些个体的基因可能会为对药物的敏感性编制遗传密码；至于哪种基因更普遍，那要取决于其环境是否含有药物。

自然选择几乎对一切能复制自身的物质（比如病毒中的DNA或RNA）产生作用。在一个能复制自身的群体中，一些变体复制自身的速度也许比另一些变体更快，因而复制自身最快的变体最终会占据总数中的绝对多数。这便是产生抗药性病毒在身体上正发生的一切：病毒的DNA被复制下来了，复制编制抗药性遗传密码的DNA，比复制编制药物敏感性遗传密码的DNA效率要高得多。严格说来，自然选择要发生作用，仅凭复制是不够的——复制实体还必须有所变化，而且子代还得与它们的亲代相像。但实际上一个能复制自身的系统，在实际中通常还要满足其他一些条件。复制是进行自然选择和生命得以存在的首要条件。

假如生命的定义是通过自然选择而进化的一切物质，那么这一定义给我们描画的生命是个什么样子呢？生命对于我来说就意味着简单，就是复制物质，仅此而已。我不知道任何想着要创造一个活生生的复制系统的人会不会不切实际地幻想出一些像我们

人一样复杂的生命形式来。他或她也许能造出一个简单的分子，它能在含有可自行合成分子的较为简单的化学物质的环境中复制自己。**DNA**分子就属于这一种类，而一段也许是在海中不断复制自己的短的**DNA**分子（或者某一类似的分子），从概念上说，比一只肥大的，具有进食、呼吸、行走和交流的生理超级结构的四脚动物更具明显的生命特征。如果生命的任务在于复制基因，那么我们的大多数生理机能在进化过程中都是不得要领的，因为我们的这些生理机能与复制没有明显的关系。母鸡只是用鸡蛋制造了另一个鸡蛋，* 这个逻辑是正确的，而且 [正如简·曼德瓦和彼得·曼德瓦 (Jean and Peter Medawar) 在引用“鸡只是用鸡蛋制造了另一个鸡蛋”的说法后评论道：] “反对这一说法的惟一合理的理由，是贬义使用了‘只是’一词，因为鸡（实际）以奇特和令人吃惊的方式制造了另一个鸡蛋”。而且，鸡蛋（甚至比**DNA**更多）能以令人吃惊的方式制造出更多的**DNA**。鸡蛋很多，我们可以靠吃鸡蛋活下去。**DNA**只是鸡蛋中很微小的一部分，鸡蛋的其余部分是具有一定复杂性的系统，有蛋黄、蛋白、薄膜和蛋壳。你开始觉得活的物质从理论上说是多么简单时，便马上又会迷惑不解，因为地球上那么多的生命形式具有极为复杂的超级结构。的确，生物学主要是研究生命的超级结构，而不是研究生命复制的遗传基础。翻开任何一本生物学教科书——大学基础生物教程现已扩增到1000多页——讨论**DNA**复制的不到10页，其余涉及的均是有关使复制最终成为可能的躯体机制。就好比学文学的学生花1%的时间研究作者的创作思想和文学形式，却花99%的时间研究排字工、排版工、编辑和造纸商。尽管如此，生物学家的研究还是无可厚非，这完全是因为生命的形式。生命已经进化

* 一般认为此说法源自塞缪尔·巴特勒 (Samuel Butler, 1835~1902, 英国作家)，但巴特勒又含蓄地否认了自己的说法，说：“我相信，它常常被称为母鸡……”

到超越遗传复制的复杂形式。我们对复杂的超级结构感兴趣，不仅是因为当它出问题时会我们生病，而且还因为它本身作为一种结构就很令人惊奇。为什么会存在超级结构？为什么地球上不是仅仅只存在光裸的复制分子呢？

简单的试管生命

人们对简单的复制分子体系做实验，其结果使这个问题更为戏剧化。你往试管中倒入能使复制分子复制自身所需的原料，然后用一定长度的复制分子接种（放入）这一体系。20世纪60年代索尔·施皮格曼（Saul Spiegelman）和他的同事在伊利诺伊大学做过此类富有启示的实验。他们用RNA而不是DNA作为复制分子。启动的RNA分子是一个叫做Q β 的病毒，它是一个RNA链。这一启动的RNA分子和DNA一样，是由叫核苷酸的单位构成的链。RNA中有四种核苷酸，分别用字母A、C、G和U代表。一个RNA分子可以看做是这四个字母的一个序列，就像...GCGUUA...（在DNA中，另一种称做T的核苷酸取代了U）。施皮格曼的实验从一个略长于3000个字母的复制分子开始。它在试管中复制自身，逐渐用掉了原料。为使实验继续进行，实验者得不时取出RNA样品，把它再放入另一装有新原料的试管中。这个实验是通过自然选择促成进化的一个基本结构。由于自然选择有利于最有效复制自身的RNA变异体，所以进化发生了。这种最有效复制自身的变异体随时间不可避免地增加其（在群体中的）频率。

结果会发生什么呢？这个体系进化出更为复杂的分子了吗？也就是说，进化出能多占原料或更高效地吸收原料或甚至能吞食比较小的复制分子的更大的复制分子了吗？完全没有——实际发生的是，复制分子随一个个世代的推进缩小了。实验开始时分子大约有3000个字母长，结束时缩到只剩550个字母的长度，只有原来长度的六分之一。自然选择有利于那些能以最快的速度复制

自身的分子，而这个550个字母长的分子就是被精选出的，能以最快的速度复制自身的变异体。这一最终分子比原来分子的复制快15倍——这是因为它缩短为原来的六分之一；由于它每单位长度复制快2.5倍——所以，最终分子中的字母（组成成分）在更好地匹配试管中原料的过程中得到了进化。

这个550个字母长的分子也许接近了施皮格曼特定结构的最短长度。不过我们不能肯定，因为实验结束时分子的长度仍在缩短，但比先前的速度要慢多了，缩短现象大多发生在实验进行的中间阶段。将来也许会发现，分子就停留在550个字母的长度上，或还会再稍微缩短一些。实验中没发生的以及实验无论做多长时间都不会发生的，都涉及复杂性或类似复杂性的进化。能复制的分子不是进化得更长，而是在试管适宜的条件下舍弃掉不需要的信息后变得越来越短了。它也没有向细胞、细胞群或像你我这样的庞然大物的方向发展。不需要有复杂性，复杂性也没有发生。施皮格曼实验中幸存的不是最大而是最小之物——是最简单而不是最复杂之物。那么为什么复杂性发生在真正的生命的进化之中了呢？地球上的生命与施皮格曼试管实验那微型世界中的生命有什么区别？

复杂性进程一览

复杂生命史中重要事件的年代提供了又一让人怀疑复杂性进化不可能的理由。这一观点依据的是发生在远古的事件的时间。20世纪80年代以来，生物学家们开始拥有两种独立推测远古事件的年代的方法：化石方法和分子方法。这两种方法得出的结论有时吻合有时抵触。分子研究与化石研究之间的关系——从支持性的自由聚会到学术式的群体论战——是现代科学中最具戏剧色彩的关系之一。

两种方法从原理上说都很简单。比如，要找出人类起源的年

代，我们可以追溯最早时期的人类化石的时代；人类必定是在那之前产生的。这类证据告诉我们，人类大约在350万年前的某个时候，开始从人类和类人猿的共同祖先分离。另一方法使用分子证据。DNA分子在进化中似乎以一个相当稳定的速率在变化——一个被称作“分子钟”的事实。因此，两个物种DNA分子差异的大小，与它们和共同祖先分离的时间的长短是成比例的。现在假设我们知道有两个物种1000万年以前有一共同祖先，且他们现在在DNA上已累积了10个差异。我们一旦测出另一对物种的分子差异，就可以以此为标准刻度点，来推测这对物种共同祖先的年代。如果另一对物种在DNA上有100个差异，我们便可以推测，它们由其共同祖先中分离出来的时间大概已经超过1亿多年。至于人 12 类的起源，大家都知道人类和狒狒的共同祖先大约生活在3000万年前，分子差异在人与狒狒和人与类人猿之间被测量过。由此推测出一个著名的推断：人类起源于——也就是从人和类人猿的共同祖先分离于——500 万年前。

化石方法和分子方法均易出错，有时甚至是严重错误。化石记录不完整，尤其是在5.5亿年前的远古，当生命复杂史中很多重大事件发生的时候（图1）。分子钟可能会是个不稳定装置，很难校准，在校定5.5亿年以前的年代上尤其容易出错。我们下面要讨论的年代虽然可能不准确，但还是具有一定的合理性的。有不止一种的独立测定方法还是非常有益的，因为假如两种方法得出的结果吻合，不确定性就减小了。况且，我们这里对年代感兴趣主要是在于它们向我们展示的复杂生命进化的必然性，而为证实这一论点，年代不绝对准确问题也不大。后面我们会看到，即便使用的年代偏差很大，该论点依然成立。

我们从生命起源开始谈起。最早的生命化石遗迹的年代是什么时候？对格陵兰两处遗址的最新研究发现，两处遗址的岩石中都含有生命的遗迹。其中一个遗址的岩石有37亿年之久，另一遗

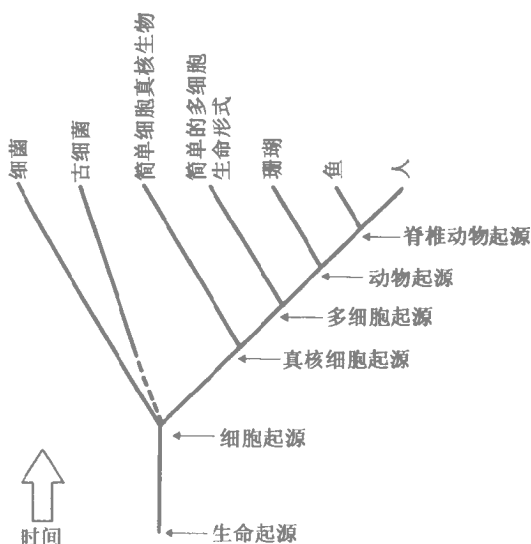


图1 复杂性进化的主要事件

址的岩石据说（此说比较有争议）有38亿年历史。岩石上的化学遗迹显示了生命的证据——尤其是惟有生命体系才能产生的碳的形态。我们不知道是什么生命形式产生了这些碳的遗迹，虽然它们可能有新陈代谢，甚至还能进行光合作用。这个时期的生命可能比最早时期的生命要复杂得多，它可能包含一些简单的复制分子。从原始分子进化到具有新陈代谢的生命，一定经历了一个相当长的时间，这意味着生命的起源始于37亿年以前。即便37亿年以前这个年代也已经够早。地球本身大约有45亿年的历史，在一开始的几亿年里也许并不适合生命居住，因此生命起源的时间也许不能推得太早。地球上的生命也许大约起源于40亿年之前。从

13 化石记录中得来的另一个有趣的年代，是有关细胞的起源。如果在37亿年前的格陵兰岩石上的化石生命具有新陈代谢的话，它可能已经是细胞状。但最早的化石细胞的直接证据来自被称为顶部

黑硅石的澳大利亚岩石，可以追溯到35亿年以前。在澳大利亚，对于这一时期的化石细胞，还有一些其他发现。细胞很小，因此很难确定一个外表像化石细胞的东西就一定是细胞。任何一个证据都有可能是错误的。但是，所有集中在一起的证据都暗示，这个时代存在着生命，现在普遍认为，细胞大约进化于距今35亿年前到40亿年前之间。

关于生命和细胞的起源问题，分子钟有何解释？用分子对这些早期事件作推测要么无法做到，要么不准以至不能利用。人们试图用分子钟确定的最早事件的年代，都是细胞生命的起源。研究利用慢速进化分子，这些分子取自彼此间几乎没有任何关系的细胞生命形式。细胞生命似乎分三界。过去一直认为是分两界：细菌和其他（被称为真核），但卡尔·韦尔斯(Carl Woese)的工作又加了第三界——古细菌界。古细菌似乎是一种全新的微生物，而不是前面已知的两界中分离出来的。古细菌生活在温泉和其他一些极端的环境里。用分子钟对细胞生命的起源作估计，可以利用细菌与任何动物或植物间的差别，或细菌与古细菌，或任何动物或植物与古细菌之间的差别。最近的一个最有说服力的研究，是拉塞尔·杜利特尔(Russel Doolittle)和他的同事在圣地亚哥的加州大学用若干分子所做的研究。关于所有现代细胞生命的共同祖先，他们给出的数字是，“在30亿年前到40亿年前之间”。其他分子给出的数字也在这个范围之内。这些数字显然是一个大约数——误差为1亿年，这个大约可是有点离谱，但是至少分子估计与化石估计的35亿年前的数据基本一致。

谈及细胞的起源后，我们再来看看更为复杂的细胞种类的进化。重要的区别在简单一点的“原核”细胞和复杂的“真核”细胞，关键是真核细胞有一个分隔的细胞核，在细胞内被一层膜包裹着，内含DNA；原核细胞没有细胞核，DNA裸露在细胞内。“原核”(prokaryotic)和“真核”(eukaryotic)二词源于希腊语的“káryon”，意思是坚果，或果核，然后扩展成一种细胞核（前缀

“eu”是“好的”、“真的”的意思，“pro”是“前面的”、“原始的”的意思)。真核细胞大概从远古的原核祖先细胞进化而来。

这一转型是生命复杂性历史上的一次重大事件——我们也许在后面会看到——因为地球上所有的复杂生命都是由真核细胞构成，而原核生物都是简单的。[原核生物(Prokaryotes)指由原核细胞组成的一类生物；真核生物(Eukaryotes)指由真核细胞构成的一类生物。没有哪一种生命形式同时包含有这两种细胞形式]。

大多数原核生物都是微小的单细胞生物。所有细菌都是原核的，出于多种考虑，本书中“原核生物”和“细菌”二词之间可
15 互换，因为几乎所有对原核生物的了解，都是从细菌那儿得来的。但这绝不等于可以说所有原核生物都是细菌，因为古细菌也是原核生物，但对于它们现在还没有多少研究。不过我们至少已经知道，它们与细胞种类和复杂性之间的一般关系相吻合。所有已知的古细菌都是简单的单细胞生物，就复杂性而言，可与细菌相比拟。

其余的细胞生命都是真核的。真核体包括除细菌、古细菌和像病毒这样的非细胞生命之外的其他各种生命。有些真核生物是单细胞生物：变形虫是一个真核细胞，还有诸如草履虫这样的纤毛虫和一些酵母也是。实际上，所有多细胞生命以及肉眼能看见的各种生命都是由真核细胞构成的。珊瑚、蠕虫、昆虫、青蛙、鸟类和我们人，所有这些动物身上的每一个细胞都是真核的。每一个细胞在细胞核中都有DNA(仅有的例外是那些没有DNA的细胞，比如我们人的红细胞)。海藻、苔藓、针叶松和有花植物都是真核生物。这些复杂种类的植物和动物生命不仅肉眼可见，而且是多细胞的，它们还具有各自的发育。这些生物个体，由不同类型的细胞(如血细胞不同于神经、骨骼、肌肉或皮肤细胞)组成的组织和器官形成一内在架构。当精、卵结合时，个体生命就以单细胞开始了，然后发育成具有不同部分的成体。有些原核生物的形式不止由一个细胞组成，但这些细胞都是一堆相似的细胞；它们不表现从卵到结构化成体的发育过程。原核细胞通常只

是一个细胞，直至分裂、出芽或死亡一直保持同一类型不变；而真核细胞可能开始会是个卵细胞，（几经分裂）最后成了脑细胞。也有一些原核生物例外，它们有不只一种的细胞。比如项圈藻是池塘和湖泊中一种普通细菌，每一个项圈藻是由一长串细胞组成的。在这个串中，每第十个细胞都是一个具有明显的生物化学功能的特殊种类细胞：它可以“固氮”；而其他九个细胞是进行光合作用的。因此项圈藻不仅是多细胞生物，而且有两种细胞，但与植物和动物相比，它还是很简单的。也许可以这么说，有发展的所有生命形式都是真核的。我认为还可以说所有多细胞生命都是真核的，因为原核生物是多细胞的情况实在太少了。地球上的复杂生命是真核生命。化石和分子证据告诉我们这种关键性的新类型细胞是什么时候进化出来的了吗？

进化最早的细胞是原核细胞。澳大利亚那已有35亿年历史的化石可能是原核细胞，主要理由有二。首先是那些化石与现在活的原核细胞很相像。W·J·肖夫(W.J.Schopf)出版的化石照片和与它很相像的现代形式的原核细胞的照片表明，即便经历了35亿年的变迁，它们的相似仍很惊人。澳大利亚化石与当今活着的物种之间的相似，说明原核生物进化中诸多不可思议的故事中的一点，即无进化——它们似乎永远保持着原状。更近一些时候的化石细胞肯定是原核细胞，因为它们和已知的现在的活的原核生物一模一样。肖夫还出版了一些精彩的、与现代细菌物种照片比照的原核化石照片。一种叫古磁(Palaeolynbya)的大约有10亿年历史的西伯利亚化石的照片和另一种叫磁(Lynbya)的墨西哥的现代细菌摆在一起，我根本分辨不清。10亿年来，从古磁到磁的家系一直沿用着其简单的（遗传）编码，不需任何变得更为复杂的进化，而那些在澳大利亚成为化石的细胞显然可能同样一直沿用其编码更长达35亿年。

第二个证据是化石细胞的大小。原核细胞一般比较小：细菌的大小在0.5~5微米之间[1微米就是一毫米的千分之一，用符号