

地外生命科学探索

文 _ 刘志恒

刘志恒，中国科学院微生物研究所研究员，博士生导师，享受国家特殊政府津贴。主要研究方向是原核微生物系统学、资源学和宇宙微生物学。先后承担过国家自然科学基金、国家 863 计划、国家载人航天工程、中国科学院创新工程等项目中的多项研究课题。中国空间科学学会生命科学专业委员会和生命起源与进化专业委员会主任。



◎ 什么是生命？

现今还没有一条被生物学家普遍接受的“生命”定义。然而给生命一个定义将越来越重要，这不仅因为宇宙生物学家和天文学正在探索地外生命，而且也许几年后科学家也将会在实验室合成“人造生命”（artificial life）。由于生命是复杂的现象，即使最简单的微生物也是非常复杂的，然而目前提出一套属于定义中的生命应具备的基本特征是必要的。

通常提出任何一条定义，总是随所给对象之意义的理论相关联。联系到宇宙生物学领域里的生命理论，一个普遍的生命定义是“可以进行达尔文(Darweinian)进化的自生化学系统”。那么，问题是什么样的化学结构可能支持这一达尔文进化论？今天多数的回答认为这些结构可能是宇宙中的生物分子和细胞信号。

从方法学出发，一种定义生命的途经是去叙述有关生命状态的一套最起码的特征。这里列举出了活的陆地生命的基本特征。生命机体是由多聚体组成，长的亚单位分子构成单体。生物多聚体是由单体氨基酸、核苷酸，利用环境可利用的能量聚合在（细胞）类脂膜里合成。最早的生命多聚体是核酸和蛋白。多聚体应具有信息储存、营养转化和能量转换三种功能。核酸行使生物信息储存、传递遗传信息的独特功能。称作酶的蛋白具有特异地催化生化反应功能，增加代谢反应速率。遗传和催化多聚体两者在细胞反馈调控系统中非常重要，其信息遗传多聚体适用于指导催化多聚体合成，而催化多聚体酶蛋白又参加遗传多聚体合成。

细胞生长期间多聚体系统进行自身复制，且随细胞分裂而再分配。复制过程若出现错误就发生变异，结果导致细胞间的分化。分化的细胞会表现不同的生长能力，且在一定的环境里存活下去。个别细胞基于他们应对营养和能量的竞争而遭受不同选择，其结果之一是表明细胞有进化的能力。从罗列出的这一系列生命特征，就可以分析其是否可用于生命的定义。无疑，如若将上述特征组合起来合

成人造生命就成为可能。然而，若这些特征被一一删除，生命定义就变得模糊和茫然了。

假设有一个极其完备的、进化不可能发生的复制系统，那么生命系统还会存活吗？大多回答是可以，因为进化可能不是生命的一个必要特征。但是，考虑到类似病毒的生命体，依赖寄主细胞质而复制，而无须利用环境中营养代谢，似乎存在于生命与非生命界面的病毒又是可以进化的。

定义生命的另外尝试，假设未来的火星漫游者，发现在火星冰冻的陨石坑底部可能存在有什么的话，已经设计的漫游者火星探测器就可能检测到融化冰而产生液体里的微生物。当今，令人惊讶地可以看到在送回地球的图像有大量微小球形结构（图1）。这些颗粒是来自微小生命吗？究竟有多少检测到的生命特征可让人相信火星存在生命？那么，在火星登陆者设计中，很清楚需要生命的定义去指导对飞行器选择检测工具包、搜寻测试所有生命特性，开展地外生命科学探索。

◎ 地外生命是否存在？

不论是天体物理学家、天文学家、生物学家、化学家，还是哲学家和神学家，都认为智慧生命的出现，要求具备大量的必不可少的外部条件，如一颗不冷不热的行星，有水 and 一切必需的物质，没有致命的辐射和撞击等。1994年，法国巴黎第九大学物理学教授马尔索·费尔登在《我们是宇宙中唯一的存在者？》一书中，将出现与人类相似生命的必要自然条件归纳为：所在行星距离恒星不远不近；体积不大不小；有水和氧气；没有致命的宇宙辐射；有几亿年稳定的时间和大量的二氧化碳。没有这些条件，即使微生物都不可能产生。美国科学家 M. H. 哈特还曾具体指出，液态水是生命形成和进化的条件。必须有

6000 个以上的核苷酸按一定次序组合才能形成生命的种子。生命的种子在液态水中要经过几亿年的发展，才能进化成原始生命。地球上的生命从产生到掌握先进技术，延续了 40 亿年。

我们的地球是一个生命的绿洲，拥有约 30 多万种植物、100 多万种动物和难以估量的微生物，在生命的顶端是智慧的人类。不管地球上生命的种子来自宇宙还是自身孕育，许多科学家都认为，生命是宇宙中的普遍现象。1982 年，联合国召开了第二届“探索与和平利用外层空间”大会，大会的备忘录《有关外层空间科学的现状与未来》中说：“如同在地球上形成生物一样，在围绕着某些恒星旋转的行星上，也可能有生物形成。不仅如此，它们也许已经经历一定的演化过程，进入文明社会。”备忘录还指出，由于某些恒星的年龄达 200 亿年，而太阳系的年龄只有 45 亿年，因此，在宇宙中可能存在着比我们人类文明长达数亿万年的高级文明。著名航天专家冯·布劳恩认为：“在广袤无垠的宇宙中，不仅有植物和动物，而且也有智慧生物存在，这是极可能的。”虽然“至今我们还没有证据或迹象说明，在我们银河系中曾有或现在仍有比我们历史更悠久、技术更先进的生物，但是，从统计学和哲学的观点看，我相信这些更先进的外星智能生物是有的。”英国数学家和天文学家弗·霍伊尔等人认为，在银河系每 1000 颗恒星中，就有 1 颗有生命演化条件的行星存在。这样，仅在银河系就可能就有 20 亿个生命发展的场所。而且，每 10 万个具有生命的行星中，有 9 万个其文明程度超过地球。

1994 年，当苏梅克—列维彗星撞击木星时，科学家发现，当撞击发生时，有大量水蒸气出现。这说明，这颗彗星上带有大量的固体水。有水就有生命。苏梅克—列维彗星在宇

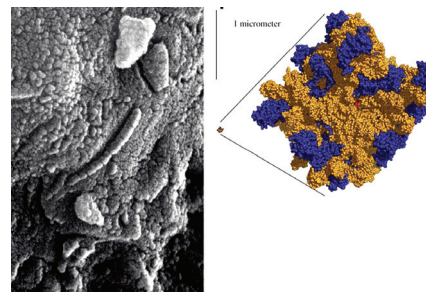


图1 从一种来自火星 Allan 丘陵的陨石观察到的核糖体鳞状结构（图上右侧黑色竖线条长度等于 1 微米）。这意味着任何火星生命好似也必须使用跟地球人一般大小的核糖体构造蛋白（引自 Steven A. Benner: Defining Life. ASTROBIOLOGY, Volume 10, Number 10, 2010）彩色图像参考 www.liebertonline.com/ast。

宙中是很平常的彗星，它们在宇宙中穿行，产生生命的可能性是极大的。1996 年，美国宇航局从一块落在亚利桑纳州的火星陨石中发现，这块陨石中存在古代微生物（图1），火星存在生命的古老传说再一次被人们所重视。最近，美国宇航局宣布，从哈勃太空望远镜中得到的照片显示，一直被认为不稳定的木星上发现有大气，还有潮湿的土壤，这说明木星已经具备产生生命的基本条件。2009 年 11 月 13 日，美航天局发表新闻公报说，半人马座火箭、月球坑观测和传感卫星相继撞击了月球南极附近的凯布斯坑，重约 2.2 吨的半人马座火箭撞击月球后激起了两部分尘埃：一部分由蒸汽和微尘组成；另一部分由质量更重的物质组成。月球坑观测和传感卫星携带的光谱仪对尘埃进行了分析。美航天局负责这一项目的首席科学家安东尼·科拉普雷特表示，初步分析结果提供了多种证据表明，上述两部分尘埃中都存在水的踪迹，“尽管月球上水和其他物质的浓度和分布情况还需进一步分析才能确认，但可以放心地说，凯布斯坑中存在水冰。”美国加州大学伯克利分校科学家格雷格·德洛里认为，这是一项“非凡的



图2 美国“火星勘测轨道飞行器”于2009年4月至8月初期间拍摄的火星地貌图像（新华社）

发现”，并认为彗星是月球上水的可能来源之一。美国科学家2009年9月底也曾公布研究结果称，他们对3个航天器搜集到的数据进行分析后发现，月球表面存在水或羟基物质，或者这两种物质同时存在，太阳风可能是其成因。科学家认为，如果最终能确认月球上存在丰富的水资源，将对人类建立月球基地以及探索更遥远的星球具有重要意义。水不仅是宇航员在月球上的重要生存资源，还是月球基地所需氧气和运载火箭燃料的来源。2010年1月4日，英国研究人员报告，根据火星探测器传回的信息绘制的三维图像（图2）显示，约30亿年前火星上可能有大量湖泊。这一观点将火星存在大量地表水的时间下限向后延伸了数亿年。2004年5月，火星探测器“勇气”号发现了硅石。硅石的沉积是需要大量的水作为条件的。因此，火星过去可能比现在更湿润，这同时为“火星生命说”添加了新的重要证据。

1979年NASA的旅行者1和2号，以及1995年伽利略（Galileo）

探测器先后到达木星轨道，进入了木星卫星系统，检测到木卫二可能是唯一的一个有水与岩石层直接接触的伽利略卫星。木卫二的中心同样是一个铁核，有岩石的地幔，外层是水，可能是深达千米的大洋，上面覆盖着千米深的冰层（图3）。木卫二似乎能够满足生命存在的先决条件。

◎ 地外生命是如何探测的？

如果地外生命确实存在，我们如何去探索呢？1999年1月，美国航宇局成立了一个虚拟的“天体生物学研究所”，成员是分散在11个不同实验室工作的生物学家、化学家、天文学家和物理学家，他们通过互联网联系起来。研究所的第一步工作，就是研究地球极端环境，诸如深海火山口和黄石公园热水泉等温度高于沸点的地方、压力巨大的地球深处以及地球两极的冰冻荒原的生命是如何维系和发展的。第二步，是在太阳系行星及卫星上寻找低级生命。如探测在火星上、在木卫二冰层下的海水中、在土卫六的甲烷（或液氮）湖中是否

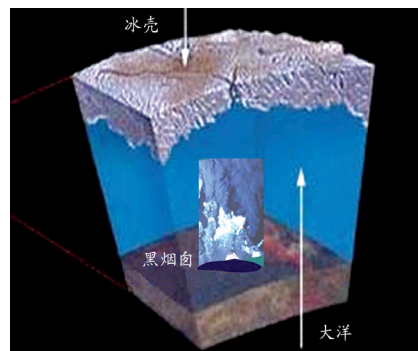


图3 木卫二（Moon Europa）可能存在的地下海洋（引自：Horneck, 2008）

有生命和在生命起源中起作用的物质（如在火星陨石中曾发现多环芳香烃）。

科学家已建成了一些在太阳系进行生命探测的仪器，主要是针对宇宙微生物进行探测。

◆沃尔夫行星取样装置，是由沃尔夫·维斯尼克教授领导研制的细菌探测器。它在行星上软着陆后向地面伸出一支真空管，脆弱的顶端在触地后破裂，吸入地表样品，然后将其放入培养液。如土壤地表样品中有细菌，就会迅速繁殖，使培养液变浑浊，pH值发生变化。用光束和光电管测出浊度，用pH电测装置测量pH值，就可知道该星球上是否有生命。

◆格列弗装置，是由格列弗教授领导研制的放射性同位素生化探测器。他用黏性绳索收集实验样品并放入几个装有培养液的培养皿中，在一些培养液中有放射性同位素C14。如样品中有微生物，会因新陈代谢而放出二氧化碳。若检出的二氧化碳被放射性污染，就说明该星球上有生命。

◆光学旋转弥散分布仪，是用偏振光寻找外星球上有机分子的探测装置。有机分子对偏振光具有光学活性，当旋转的偏振光照到有机分子时，它会产生一个信号。如能产生这样的信号，就知道该星球上有生命。

目前还无法将这些装置投放到太阳系外行星上去。那么,又如何探测那里是否有生命和生命的种子呢?我们知道,不同物质辐射或吸收不同波长的电磁光谱。例如,氢:434nm、486nm和656nm;氧:501nm和630nm。其他化合物,如:水(H_2O)、甲醛($HCHO$)、氰化氢(HCN)、甲酸($HCOOH$)、硫化氢(H_2S)、氰基乙炔(HC_3N)、氨(NH_3)、甘氨酸($C_2H_5NO_2$)、甲醇(CH_3OH)、丙烯酸(CH_3N)和多环芳香烃等化合物分子也一样。这些物质辐射或吸收不同波长的光谱,通过空间望远镜的观测,就可以知道行星及其大气的物质成分,即化学组成。因此,光谱分析是细察太阳系外行星上生命胚胎和种子的最基础的方法。

2004年,英国克兰菲尔德大学和莱斯特大学的科学家组成的研究小组研究开发了一种新型探测地球以外生命的装置。这种装置使用人造分子受体作为星际生命的探测工具,比传统的生物探测器在寻找地外生命的痕迹方面更有效。该研究小组开发了一种称为“分子痕迹聚合物”的新型人造分子受体,它能模仿抗体等生物识别分子的功能,可用来探测某一种或某一类可显示当前或过去该星球是否有生命的生物标记分子,并可将探测结果通过电化学和光学手段转换为可识别信号发射出去。科学家只要对接收到的信号进行分析,就能判断探测星球上是否有生命。负责这项研究的克兰菲尔德大学生物科学与技术研究所的大卫·卡伦博士说,目前,他们正在考虑如何进一步改善这一技术,以便将来探测火星或太阳系其他被认为可能有生命的行星时,能够配备更有效、更可靠的地外生命探测装置。

2009年4月,美国宇航局启动了一项地外生命基因探测计划,拟于2018年正式将专业仪器送上火

星,对火星上可能存在的生命体进行DNA探测。

中国科学院也启动了2050空间科学技术发展战略路线图计划,其中包括了宇宙生命起源和地外生命科学探索任务。正在研制的DNA分子芯片技术有望用在地外生命信号探索之中。

◎ 极端微生物在地外生命探索中的意义

探索地外生命是科学上的最大挑战之一,有助于加深人类对生命起源与演变的认识,提高人类认识宇宙以及认识自己在宇宙中的地位的能力。地球上极端环境中生命的发现给宇宙生物学研究带来了信心。探索地球上极端环境中生命的存在可以给外太空生物学提供证据和理论基础。目前,已有很多证据表明,在火星、月球、土星和木星的卫星上可能存在生命需要的水。《自然》杂志最新报道,从火星上拍摄到的照片显示其表面可能是一层被灰尘覆盖的冰海,与南极冰海非常相似。火星表面的一些物理化学属性符合生命体存在和生长的要求,表明火星上可能存在生命。在地球寒冷、高辐射、温差幅度大、低营养的南极冰海中,生活着很多嗜冷生物。南极洲大峡谷中干燥多孔的岩石环境与火星最为相似,在其中生活的真菌被当做探索火星生命的真核生命模型。在智利最干燥的阿塔卡马沙漠中,在地下数千米深、几乎无氧的闷热岩洞里,在南极洲-50℃严寒的千年冰架下,在终年黑暗并承受巨大压强的深海沟底,在几千米空气稀薄的高空,甚至在核反应堆通风口处,都有形形色色与世隔绝的微生物在顽强地生存着。法国科学家曾在太平洋底3000米、水温高达250℃的热泉喷口发现多种细菌。1969年降落月球的“阿波罗

12”太空船,收回了两年半前无人探测飞船“月球探测者3号”留在月球上的相机,竟然发现其底部有地球上的缓症链球菌微生物,这种来自地球的微生物在几近真空、充满宇宙射线的月球表面竟然生存了两年半。2002年,美国科学家在爱达荷州热泉中发现了一个新型的微生物群落,多数为古菌,它们生活在水下200米。根据地质化学和热力学的推测,产甲烷菌可能是火星和土卫六地下生态系统的主要生命类群。美国科学家在新墨西哥州卡尔巴斯附近地下岩洞的一个古老盐结晶体内发现了一株嗜盐菌,已经存活了2.5亿年。该嗜盐菌的复活挑战了生命存活时间的极限,同时,也提示生物的星际旅行是可能的。据英国《每日邮报》与英国广播公司网站2010年8月25日报道,由英国开放大学的研究小组采集的德文郡比尔村海岸普通细菌,于2008年送往国际空间站。这块特殊的岩石样本放在国际空间站的技术曝光平台上,这批细菌应经受了极端的紫外线和宇宙射线辐射以及急剧变化的温差,石灰岩中的所有水分都应在这种环境下汽化。约一年半(553天)后,宇航员取回国际空间站外的岩石样本,检查时发现很多细菌仍然活着(图4)。而这些“菌坚强”现在已经到达开放大学的实验室里继续繁殖。

极端环境微生物的生命潜能与地球上其他生命的潜能完全不同。正是这一不同向我们暗示,生命在宇宙间不同星球上迁徙的另一种可能。科学家预言,地外生命的原始形式很可能就是微生物,地球上极端环境微生物的研究,为我们在其他星球如火星上如何寻找生命,到哪里寻找生命提供了线索。地外微生物的探测,对人们理解生命的起源和演化过程,开发利用空间微生物资源将产生重要影响。

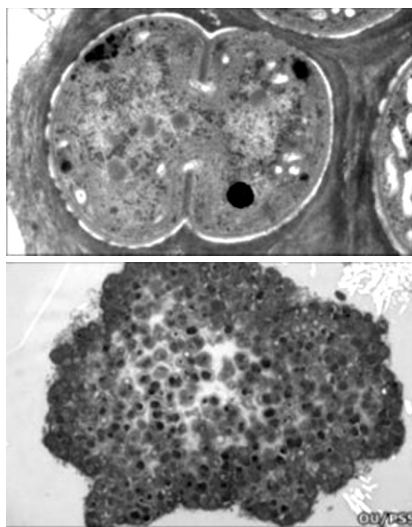


图4 存活菌群(上)中心的单个细胞(下)可能得到特殊保护



图5 英国著名物理学家史蒂芬·霍金
(来源: 中国日报网 2010-04-26)

◎ 展望

近年来,随着空间科学和技术的发展,科学家把生命起源的研究扩展到地外生命探索。迄今,射电天文学家已经发现了相关的有机化学分子存在于远离我们太阳系的尘埃云中。星际有机分子的发现,对研究星际生命的起源提供了重要线索。比如说,目前发现的星际分子几乎都是由六种基本元素构成的:氢、氧、碳、氮、硫、硅,这六种元素中的前五种如果加上磷,它们就成了构成地球各种生命的基础元素。非常有趣的是,5个氰化氢(HCN)分子可以形成核酸碱基中的一个成员——腺嘌呤。再比如说,甲醛分子在适当的条件下可以转变成生命物质的基本组成形式——氨基酸。由于我们还发现了许多尚未辨识的有机分子,它们很可能会组合成多种生命形式。各类星球探测器还发回了月球、火星、土星卫星表面类似地球的戈壁、沙漠、干枯河底和海床的地貌照片。从1992年开始,一些科学家开始用现代望远镜观测太阳系外行星,并期望发现类似地球一样有生命存在的行星。截至2009年1月31日,已发现了336颗太阳系外行星,不过其中绝大多数属于类木行星,即体积比较大,表面是气体,只有少量的天体与地球相似。这样的结果主要是由目前的探测方式和技术水平所决定的,并不能说明太阳系外不存在类地行星或有生命存在且与地球大小相当的行星。2009年美国东部时间3月6日22:50,美国成功发射了第一个专门探测太阳系外行星的空间望远镜——开普勒(Kepler),从而揭开人类探索地外生命的新篇章。

最近,英国著名物理学家史蒂芬·霍金(图5)在一部最新纪录片中预言,外星生命几乎是肯定存在的。霍金认为,外星生命可能存在于宇宙的很多地点,除了各大行星以外,还

可能位于某些恒星的中心,甚至漂流在星际间。理由很简单,宇宙太大了。宇宙包含着1000亿个星系,每1个星系又拥有数亿颗恒星。在这么广阔的区域里,地球当然不可能是生命进化的唯一场所。霍金说“我从数学的逻辑来思考,仅仅这些数字本身就表明人类有关外星生命存在的说法是完全合理的,”霍金说,“而真正的挑战在于将外星人找出来。”

主要参考文献

- [1]ASTROBIOLOGY: The NASA Astrobiology Roadmap, Volume 8, Number 4, 2008
- [2]格达尔·霍内克,庄逢源,宇宙生物学.中国宇航出版社,北京,2010
- [3]Gerda Horneck, David M. Klaus, and Rocco L. Mancinelli (2010): Spce Microbiology. Microbiology and Molecular Reviews, Mar. 2010, P.121 ~ 156
- [4]Moseelio Schaechter. 2009. The Desk Encyclopedia of Microbiology, Chapter 79. 导读编译,科学出版社
- [5]Steven A. Benner : Defining Life. ASTROBIOLOGY . Volume 10, Number 10, 2010
- [6]保罗. 2009. 生命起源挑战进化论. 自然与科技, 1 ~ 2, 22 ~ 25
- [7]焦维新. 2009. “开普勒”的使命. 国际太空, 3: 1 ~ 9
- [8]李慧君. 2010. 火星 月球 有水大不同. 科技日报, 01. 07
- [9]李龙臣. 2009. 地外生命和外星人探测. 太空探索, 1: 54 ~ 55
- [10]李旭丰, 张涛. 宇宙其他地方存在生命吗? 探索, 维普资讯网
- [11]赵玉芬. 2009. 生命起源与进化——人类永恒的探索. 中国空间科学学会第七次学术年会, 大连, 8: 27 ~ 30
- [12]中国科学院空间领域战略研究组. 2009. 中国2050年空间科技发展路线图, 北京, 科学出版社