

关于生命起源中地质作用的几点新看法

谢力华¹, 黄智龙¹, 胡 斌², 姚丽君¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中南大学 地质系, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 通过有机分子合成、矿物特性、相关地质作用的研究, 可以认为, 矿物质在导致生命演化的基本化学反应过程中起着关键性作用, 地幔流体与地壳中的对流热液是生命产出过程的重要舞台, 整个岩石圈对生命的产出是个必不可少的因素。在远古地球环境中, 适当的水、大气、岩矿及物化条件的组合, 一定能够引发高分子化合物的产生甚至是生命的诞生。为了揭开生命起源的奥秘, 一方面要对远古环境进行充分的研究, 正确了解生命产生的初始环境; 另一方面, 要通过实验模拟, 找出恰当的水、气、岩矿及物化条件组合。

关键词: 矿物; 地幔流体; 对流热液; 生命起源

中图分类号: P5: Q10 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2002)03-0206-04

地质证据表明, 生命至少存在了 35 亿年, 可能开始于 38 亿年以前^[1,2]。关于生命的起源是科学界一个古老而又倍受关注的问题。现在一般认为生命的起源是一个化学过程。J. D. 伯纳尔(Bernal) 把它从无机界中演化出来的过程划分三个阶段: (1) 从小分子形成生物单体——氨基酸、核酸碱基、单醣等分子; (2) 由生物单体形成大量的、各自具有不同结构的生物高分子——蛋白质、核酸和多糖等; (3) 由生物高分子形成多分子体系, 并结合成生命形态。1953 年, 芝加哥大学的 Stanley. L. Miller 模拟还原性原始地球大气, 用甲烷、氨、水、氢的混合物作原料, 通过电火花放电, 循环七天, 得到的产物经鉴定含有氨基酸及其他有机分子^[3]。Miller 的实验激起了在试验室中进行生命演化的模拟试验的研究高潮。科学家曾乐观地认为, 在试验室中创造出生命将为期不远; 然而数十年过去了, 人们对生命起源中可能的自然环境下非生物成因的具生物活性的高分子有机化合物(如蛋白质、脱氧核糖核酸)是如何形成、在何处形成的研究却依然是迷雾重重。

地球环境是由水、大气、岩石所组成, 在过去数十年的研究中, 由于种种原因, 科学家仅仅强调了大气圈、水圈、太阳能在生命起源中起的作用, 而地球环境的一个重要组成因子——岩石圈在其中所起的作用却被忽略了。实际上, 近年来一系列引人入胜

的研究表明, 忽视矿物、岩石在生命起源中的作用, 可能正是研究止步不前的原因。有证据表明, 矿物质在导致生命演化出来的基本化学反应过程中起着关键性的作用, 地幔流体与地壳中的对流热液是生命产出过程的重要舞台, 岩石圈对生命的产出是个必不可少的因素。

1 矿物在有机高分子合成中所起的作用

在导致生命产生的化学反应中, 矿物质可能起着至少八种重要的作用。分别叙述如下。

(1) 提供反应空间: 早期地球对生命来说是个地狱般的环境, 被强烈的闪电风暴和紫外辐射不断轰击, 其强度远大于现在^[4], 迅速地破坏了分子链的键。为此需要有良好的反应场所, 而长石和其他常见矿物的风化表面上密布着许多微小的凹坑, 这些微型容器可以保护生命的前体分子不受致命辐射的威胁, 从而为其提供了良好的反应空间。

(2) 浓缩反应组分: 粘土矿物、沸石矿物等对有机组分具有吸附能力, 可以从稀溶液中捕获生命发生所需的各类分子, 从而在局部形成一个浓缩域, 增加化学反应的发生几率。

(3) 保护反应产物: 矿物对反应产物的保护不仅仅局限于提供一个“遮风蔽雨”的空间, 矿物本身的物理化学特性亦能增加有机分子的稳定性。例如硫

化铁有助于白氨酸在 200 °C 时保持完好无损^[4]; 1 价盐和 2 价盐有助于增强核酸的热稳定性^[5]。

(4) 对反应物质的选择性吸附: 某些矿物的晶面可以主动地选择并富集那些具有重要生物作用的分子。生物界中同种氨基酸在结构上有左旋右旋之分, 在有机合成实验中所产生的分子全都是左旋与右旋各半, 但在生物中左旋氨基酸占压倒优势, 接近 100%。生命优先选择左旋氨基酸, 看来可能与演化过程中矿物晶面对氨基酸的选择性吸附有关, 例如 Robert. M. Hazen 的实验证明, 方解石的“左手”表面倾向于选择左旋氨基酸, 而“右手”表面倾向于选择右旋氨基酸, 过量比例接近 40%^[4]。

(5) 构筑有机分子的模板: 某些矿物的晶面不仅能够富集有机分子, 并对其主动选择, 甚至还能通过电荷、结构的对应性关系, 迫使有机分子按某些顺序排列并组装起来, 对于构造一些具有重要的生物学特性的原始分子, 矿物质可能起到关键性的作用。

(6) 反应的催化剂: 有机化合物往往需要催化剂的作用才能以有意义的速度发生反应, 而催化剂只有岩石圈中的各类矿物才能担当。实验证明, 在海底热液口环境下经过磁铁矿的催化, 氮和氢气可合成为生命必不可少的氨, 而 Ni、Co 的硫化物可催化有机分子的羰基化作用形成复杂的有机分子^[4]。

(7) 供给反应所需能量: 现在地球上的缺氧环境中, 存在着硫细菌中一类以硫化物化学能为能源的生物。早期地球为还原性环境, 有理由相信, 类似的生化反应在当时亦应存在, 硫化物中的化学能应该能够为某些生命所需的化学过程提供能量。

(8) 提供反应组分: 众所周知, 热液流体具有溶解并富集矿物质的本领, S、Fe 是其中常见元素, 它们是形成某些生物必需的高分子化合物(如某些酶)的重要组分和活性中心。

生命单体形成于多种环境, 其最初的聚集与组合是无序的、随机的, 而生命的形成却需要其向有序化转变; 矿物、岩石可能是这一转变的促进者之一。所起的作用首先是限制并富集分子, 然后是选择并排列这些分子。在这些分子中可能形成了最初的一批自我复制分子系统; 自我复制分子系统开始消耗掉环境资源, 突变产生了一些略有不同的分子变种, 从而推动分子自然选择的过程。自我复制分子系统开始进化、不可避免地向越来越高效、越来越复杂的方向发展。

生命起源研究中值得注意的是: (1) 有机高分子

的合成可能需要多个步骤, 需要多种矿物共同作用提供不同功能, 也就是说需要多种矿物的集合体——岩石才能完成; (2) 反应环境不应该仅限于水岩界面; 在岩石内部裂隙、晶粒之间、晶体内部同样能够提供反应环境, 由于比表面积的关系, 内部反应的重要性应高于外部反应; (3) 矿物组分复杂、内部结构疏松的岩石应是反应的最佳环境。

2 有机高分子的合成环境

长期以来, 研究者一直把有机高分子的合成环境限定于浅海、常温、常压、阳光驱动的化学过程, 因为蛋白质、核酸对温度比较敏感, 超过一定温度便会失去活性(如 DNA 在高于 70 °C 时将失去活性^[6]), 甚至被破坏分解, 而此种环境对于生物的生存最为合适。但目前看来, 这种看法未免过于简单, 决定高分子有机物能否存在和保存活性取决于多方面的因素。数十年来, 人们认识到在地球上, 无论物理条件如何, 哪儿有液态水, 那里就会有生命^[7], 尤其是探索深海的科学家发现了海底火山口的过热开口处繁衍着多种多样的生物时, 其中一种名为 *Pyrolobus fumarius* 的生物可以在 113 °C 时生存, 在 80 °C 以上生长良好^[7]。这些事实促使研究人员考虑: 与生命起源有关的有机化学反应是否能够发生在这些所谓热液口周围的高热、高压、以地球内部热量为能源的环境。

实验证明, 矿物质有助于增加脆弱的高分子化合物的稳定性。1998 年, Jay. A. Brandes 在卡内基学会的地球物理实验室进行了一系列试验, 实验证明置于高压水中的白氨酸在加热到 200 °C 时, 几分钟内就分解了, 然而向这一混合液中加入了海底热液口及其周围常见的一类硫化铁矿物时, 白氨酸在几天的时间里保持完好无损, 而这一时间长得足以使它与其它关键的分子发生反应^[4]。已有资料表明, 1 价盐与 2 价盐可以增强核酸的稳定性, 因为这些盐能屏蔽磷酸根的负电荷, KCl 和 MgCl₂ 能保护 DNA 免遭脱嘌呤作用和水解作用^[5,7]。除此之外, 一定的压力也能增加酶的热稳定性。

科学家紧密关注着热液口周围诞生生命的可能性, 并提出了一系列假说, 如在热泉周围岩石中的喷气孔中的 RNA 生命假说^[8]。然而我们怀疑, 将生命的起源限定于热液口周围是否过于狭窄, 生命也可能起源于其他有着稳定水源并能提供某种形式能量的地方: 液态水、必需的元素、能源及可为产物提

供保护的环境是生命起源的四个必需条件。促使生命起源的有机分子不仅可能诞生于太阳系的星云中、海洋的表层、热液喷口的周围,还有可能发生在地壳和地幔中。

从太阳星云继承而来的原始地球大气,在地球形成后的数千万年间便被太阳风吹散殆尽^[3],而古代大气和古代海洋的诞生则是地球本身物质熔融和分异的过程中脱水脱气的结果。由此看来,除了彗星与陨石带来的少量有机物质外,地球生命的物质大部来自地球的岩石矿物之中。岩石圈不仅提供了生命的物质来源,很可能还提供了合成的环境和必需的条件,地幔流体与地壳中的热液对流可能起了重要的作用。

Shmulovich^[9]指出地幔流体严格的物理化学定义为:富含地球内部原始成分,同时包含地壳再循环物质的超临界挥发分系统。在地幔熔融过程中,存在于地幔环境中的 H_2O 、 CO_2 、 S^{2-} 、气态的C和N逃逸出来,它们常常高度溶解或熔解于地幔硅酸盐熔体中,从而形成性质独特的地幔熔体/流体^[10],地幔流体属G-H-O系统^[11], CO_2 和 H_2O 为其主要成分^[9,12,13]。地幔流体体系的成分与其所处氧化还原状态有关,随着氧逸度 f_{O_2} 的下降(水逸度 f_{H_2O} 升高), CO_2 饱和的地幔流体可从 CO_2 - H_2O -CO系统变化为 H_2O - CH_4 - H_2 系统^[14]。此外,地幔流体还具有使溶质和各种微量元素活化和再沉淀的特性^[11]。地幔流体作为超临界流体,其介电常数减小而活性组分的体积加大,能加快所发生的化学反应速率,而且超临界水的介电常数远低于常温条件,表现出非极性溶剂的性质,有机物在其中的溶解度大为提高^[15]。

试验表明,有机分子可以在类似环境中合成。1964年S. W. 福克斯用甲烷、氨和水的气体混合物快速通过1000℃高温的装有硅胶的石英管,将产物收集在氨水中,经过水解,可形成天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸等^[3]。1994年Robert. M. Hazen用水、 CO_2 和一些常见矿物(铁、铜和锌的大多数氧化物和硫化物)在近2000个大气压和大约250℃条件下,几乎可以生成具有任意数目碳原子的分子,其反应机制类似于一种名为费希尔-特罗普希合成法(Fischer-Tropsch Type)的普通工业流程^[4]。

与其他内行星不同,地球不仅在其表面拥有水

圈,在岩石圈中也存在有十数千米厚的含水层,通过断层及其共生裂隙,含水层还可向下延伸。含水层内物质通过热液传递产生运动,含水层本身受热时,水产生密度反差,浮力驱使水流运动。早期地球具有高的地热梯度和频繁的岩浆活动,地壳中热液对流频繁。例如1000 km³的岩浆侵入引起的环流可持续十万年之久^[16]。地壳中对流热液的成分较地幔流体更为复杂,它包含有大气降水、地表水、建造水、岩浆水、变质水等,它既可能继承了地幔流体所携带的物质,又可能有大气降水、地表水的下渗带来的外部物质(包括外部产生的有机分子);此外,在热液对流中,还在岩石圈中进行了充分的萃取和溶解。

地幔流体和地壳中的热液对流与其他可能的有机分子合成环境相比,具有以下特殊之处:(1)条件的多样化,温度可从常温至1000℃以上,压力可从常压达1 GPa以上,其他物化条件也有大的变化范围;(2)与多种岩石、矿物充分接触,可以充分发挥各自在有机分子合成中的作用;(3)具有极大的规模;(4)有大量的各类无机盐参与反应。这些特点决定了地幔流体和地壳中的热液对流可以为生命起源提供数量充足的多种有机分子。

大量证据表明,只要原始物质中含有碳、氢、氧等元素,给予适当的能量,在各类矿物作用下,再加上充分的时间,完全可以产生有机高分子化合物。生命起源的过程不仅发生在太阳系星云、海面、热液口中,岩石圈中的地幔流体和对流热液可能起了主要作用。

3 结 论

生命的起源尽管有“外源说”,即起源于地球之外,由于偶然因素溅落于地球;但是种种证据表明,地球上的最初生命是厌氧、异养生物,为了维系最初生命的生存和发展,地球上必须有足够的可以利用的高分子有机化合物,至少在早期环境中存在有可以形成高分子有机化合物的机制。只要承认这一点,那么在远古地球环境中,适当的水、大气、岩矿及物化条件的组合,一定能够引发高分子化合物的产生甚至是生命的诞生。为了揭开生命起源的奥秘,一方面要对远古环境进行充分的研究,正确了解生命产生的初始环境;另一方面,则要通过实验模拟,找出恰当的水、气、岩矿及物化条件组合。生命的起源是一个由许多较为温和的事件组成的渐进过程,其中的每个事件都使生命出现以前的分子世界的有

序性和复杂性提高一步,其过程的复杂性远远超过了人们所能想象的程度。通过研究将每一步搞清楚对现在的科学家来说可能是遥不可及的,但是通过努力,也许能够理清其中的几个片断,把这个过程看得更清楚一点,而加强研究地质因素的影响,应该能够有助于对这一问题的解决。

参考文献:

[1] Nisbet E G, Steep N H. The habitat and nature of early life[J]. *Nature*, 2001, 409: 1083- 1091.
 [2] Nisbet E G, Fowler C M R. Some liked it hot? [J]. *Nature*, 1996, 382: 2475- 2484.
 [3] 中国科学院地球化学研究所有机地球化学与沉积学研究室. 有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 299- 315.
 [4] Hazen R M. Life's rocky start[J]. *Scientific American*, 2001, 284(4): 77- 85.
 [5] Marguet E, Forterre P. Protection of DNA by salts against thermodegradation at temperatures typical for hyperthermophiles[J]. *Extremophiles*, 1998, 2: 115- 122.
 [6] Peak M J, Robb F T, Peak J G. Extreme resistance to the thermally induced DNA backbone breaks in the hyperthermophilic archaeon *Pyrococcus furiosus*[J]. *J. Bacteriol*, 1995, 177: 6316- 6318.

[7] Rothschild L J, Mancinelli R L. Life in extreme environments[J]. *Nature*, 2001, 409: 1092- 1101.
 [8] Nisbet E G. RNA and hydrothermal systems[J]. *Nature*, 1986, 321: 206.
 [9] Shmulovich K I, Yardley B W D, Gonchar G G. Fluids in the crust [M]. Chapman and Hall Press, Moscow, 1995. 215- 312.
 [10] 张鸿翔, 徐志方, 黄智龙, 等. 地幔流体基本特征及成因[J]. *地质地球化学*, 2000, 28(2): 1- 6.
 [11] Pasteris J D. Fluid inclusions in mantle xenoliths [A]. Nixon. *Mantle xenoliths* [C]. New York: A Wiley-Interscience Publications, 1987. 691- 707.
 [12] Menzies M A, Hawkesworth C J. *Mantle metasomatism* [M]. London, Academic Press Inc., 1987, 1- 470.
 [13] Schwab R C, Freisleben B. Fluid inclusions in olivine and pyroxene and their behavior high pressure and temperature conditions[J]. *Bulletin of Mineral*, 1998, 111: 297- 306.
 [14] Matveev S. Volatile in the Earth's mantle: I. Synthesis of CHO fluids at 1723 K and 2.4 GPa[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(15): 3081- 3088.
 [15] 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 地幔流体及其成矿作用[J]. *地学前缘*, 2001, 8(4): 231- 243.
 [16] 钟建业, 文京玲. 火星生命的形成与消失[J]. *世界科学*, 2001, 10(10): 15- 16.

Some New Viewpoints for the Geological Function in the Life Origin

XIE Li-hua¹, HUANG Zhi-long¹, HU Bin², YAO Li-jun¹

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*
 2. *Department of Geology, Central South University, Changsha 410083, China*)

Abstract: The study of life origin is an antiquity and much concerned issue in the science field. It can improve our realization to life and nature. According to the study of organic molecular synthesis, mineral characteristics, correlative geological action, we can get such conclusion that mineral plays the key function in the basic chemical reaction process that cause the life to evolve out. Mantle fluid and convection hydrothermal fluid in the crust provide important place for the appearance of life; the whole lithosphere is an absolutely necessary factor to the appearance of life. In the earlier earth environment the appropriate combination of water, atmosphere, rock and physical chemical condition, can certainly cause the producing of the high-molecular compound even the life arise. For uncovering the profound mystery of the life origin, the adequate study of immemorial environment is needed to understand the virgin condition of life origin. On the other hand, through the experimental stimulation, it is necessary to find out the appropriate combination of water, atmosphere, rock and physical chemical condition.

Key words: mineral; mantle fluid; convection hydrothermal fluid; life origin