

生命起源与进化——人类永恒的探索

赵玉芬

(厦门大学化学系 厦门 361005)

生命起源与进化是一个亘古未解之谜，它与天体演化和基本粒子理论并称现代科学三个前沿问题。地球上的生命是何时出现的？地球上最初的原始生命又是怎样产生的？简单生命又是如何演变为当今的多姿多彩？有史以来，人类就不停地寻找答案。是“神”创造了天地万物？是来自于外太空生命？或是经过漫长的化学-生物演化造就了地球生命？近几十年来，宇宙学、地球化学和分子遗传学等学科研究的飞速发展，尤其是以探索地外生命为主要目的的空间事业的发展，使得国内外生命起源研究得到了有力的支持¹。

2009年是达尔文年。150年前，达尔文(Charles Darwin)发表了著名的《On the Origin of Species》，用大量生动的试验证据展示了生物是如何从简单到复杂，从低等进化到高等的过程，从而阐明了物种的起源，即生物的进化²。在其科学巨著《物种起源》的结尾部分，达尔文对生命是如何起源这一基本问题仅仅作了简单的推测：“或许在地球上曾经生活过的所有有机体都起源于一种原始的形态，这个原始的形态发展成首次可进行呼吸的生命。”

生命起源假说

生命起源是一个非生命物质演变成原始生命的过程。有史以来，人们就该问题提出了一系列臆测与假说；但由于大多数的假说缺乏有力证据，因此争议不休。出于对宇宙万物大量未知存在的恐慌和对“鬼神”的敬畏，“神创论”在相当长的历史过程中，主导着人们对生命起源与进化的认知。然而，随着对宇宙行星探索的不断深入和各种不同化石与分子证据的发现，“神创论”的立论逐渐苍白无力。但在更多有力的证据出现之前，“神创论”仍将长期存在。在历史上，“自然发生论”也曾得到了许多支持；该假说认为生命可由非生命或另一种生命形式自然产生。典型的说法如中国古代的“肉腐出虫，鱼枯生蠹”，或是亚里士多德的“鱼出于泥”。但该假说在19世纪时，已被法国微生物学家巴斯德的微生物学实验证明是错误的。目前，国际上较为流行的主要假说包括“宇宙生命说”（“泛生论”），“宇宙来源说”（“宇生论”）和“化学进化论”。

“宇宙生命说”与“宇宙来源说”

“宇宙生命说”认为生命起源与地球的形成不同源，地球上的生命是从天外“移植”来的。这种观点在欧洲 19 世纪末到 20 世纪初颇为流行，例如，瑞典化学家阿列纽斯 (S.A. Arrhenius) 专门发表了《宇宙的形成》一书，他在这本书中提出：“宇宙一直有生命的胚种，它们以孢子的形式，靠太阳光的压力，不断在新的行星上定居下来，直到它落到地球上，就在地球上发育成活跃的生命。环境逐渐而且缓慢地发展为有机体，这些有机体从而成为地球上各种生命类型的祖先。”然而，部分学者认为，原始地球环境高温、强辐射、缺氧等极端条件的可能存在使得外来的“生命胚种”难于在地球上长期存在。因此，人们将目光转向在宇宙中探索生命的存在。由于直接发现生命的困难，“宇宙来源说或宇生论”随之而生，认为地球上最早的生命或构成生命的有机物，来自于其他宇宙星球、彗星或星际尘埃。该假说得到了现代一系列太空探索和陨石分析的有力支持。

1963 年以来，科学家们利用射电望远镜观察星际空间的尘埃云，分析其无线电波谱，发现太阳系其它无生命的行星上都有碳氢化合物及其衍生物，如 NH_3 、 H_2O 、 HCN 、 HCHO 、 CH_3CHO 、 HCOOH 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 等的存在。本世纪 80 年代初已探知，由 C、H、O、N 构成的星际分子共 150 种，其中 80% 是有机化合物；此外，研究人员也发现木星的大气层成分和假定的地球原始大气成分是一致的。1970 年，福克斯研究组用高灵敏度的氨基酸分析仪将月球样品的水抽提物水解，检出了甘氨酸、丙氨酸、苏氨酸、丝氨酸和谷氨酸。此外他们还在月球样品中检出了形态和地球上发现的微玻璃陨石几乎一样的物质。从陨石的提取物中，科学家们已确定了许多有机化合物系各种碳氢化合物、氧化物、氮化物、硫化物及卤化物等。据报道，在 2008 年科学家从 1969 年坠落澳大利亚的默奇森陨石中发现了来自外太空的基因物质（尿嘧啶和黄嘌呤）和大约 70 种不同的氨基酸分子，这一新发现暗示包括人类在内的许多地球物种很可能都与外星物种有关。

在“宇宙来源说”中还有一个观点，生命或是由彗星带来的。学者们认为在 45 亿年前，受过几万颗彗星和陨石撞击无大气层的原始地球的温度高达数千度，首批地球实体结构刚刚开始形成。大约 1 亿年之后，地球温度才降下来，并把彗星带来的水积蓄起来，大概又过了几亿年时间，地球环境变得已适于产生生命了。“彗星论”的理论家们推断说，当初的一切都是星球发生的偶然事件即碰撞带来的结果，同地球碰撞的一颗彗星带来了生命的“胚胎”，这颗彗星带着这种“胚胎”穿过整个宇宙，将其留在了刚刚诞生的地球上，通过缓慢的化学反应演变成最古老的生命物质。著名科学家胡安·奥罗认为“造成化学反应并导致生命产生的有机物毫无疑问是与地球碰撞的彗星带来的。”而不支持

“宇宙来源说”观点的学者则认为，在星际空间，强烈的紫外线及其他的破坏性射线便能很快地杀死细菌的孢子，地球以外的生命孢子被保存下来的可能性似乎不大。拉美最著名的科学家之一拉斯卡诺认为“彗星的确带来了某些物质，但它们不是决定性的，生命诞生所需的物质在地球上已经存在”；他认为：“生命发育的原始培养液是大洋边充满脏水的水洼”。还有一些科学家则认为“首批化学反应是在被化学物质严重污染的沸腾的水底发生的”，“地球上最初可能存在活的矿物，就是这些活矿物，导致了首批细胞的产生”。

化学起源说

“化学起源说”是“宇宙来源说”外另一得到广泛支持的生命起源假说，该假说认为地球上的生命是在地球温度逐步下降以后，在极其漫长的时间内，由地球上的非生命物质经过极其复杂的化学过程，逐步地演变而成的。许多学者认为，生命起源在本质上也应遵循达尔文进化论，是一个从简单到复杂的化学进化过程（图 1）³。具有自我代谢和复制功能的生物大分子必须由有机小分子，如氨基酸，碱基，糖，核苷，脂类化合物等聚合生成。

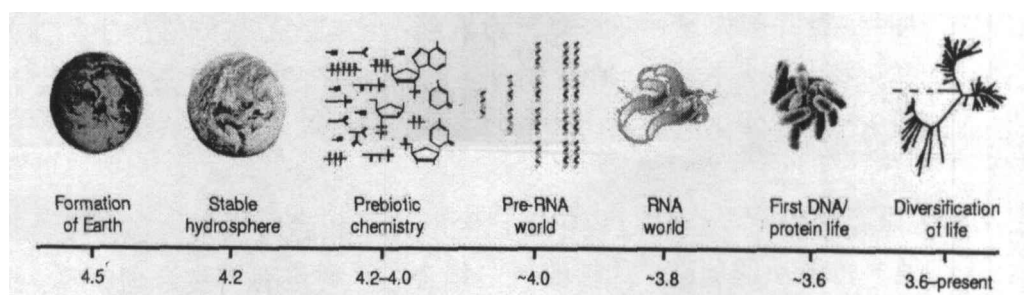


图 1.生命起源进化时间轴³

从化学分子到生物小分子的演变是起源中的不解难题之一。多年来，生物前（Pro-biotic）生物小分子的起源假说如雨后春笋般涌现⁴，其中包括著名的米勒（Miller）试管放电合成实验⁵。1953 年，米勒在实验室模拟了原始大气环境，通过火花放电，把有机小分子合成“早期”氨基酸。正如米勒在其模拟实验的研究报告中写道的一样“即使我们承认没有任何地质记录，我们还有类似的实验证据，我们清楚地确定，生命是在地球上发生的，所有的生物都是有共同的基本成分和性质，都有共同的生物合成途径，这些我们都了解得相当深入，所以有关在原始地球环境下重要生化物质(无论是单体还是聚合物)合成的知识都可能有助于说明生物的演化。”关于遗传物质基本组成核苷的生物前合成，一直以来都认为是糖和碱基脱水缩合生成。但由于该途径存在合成产率低和反应选择性差等许多缺点，核苷和核苷酸的生物前合成途径研究一直以来都未取得突破⁶。最近，英国科学家 J. D. Sutherland 等经过近 20 年的研究，发现通过多步反应可以从有

机小分子, 如 NH_2CN , 羟基乙醛等出发高产率合成核苷及相应的核苷酸, 从而为生命的“RNA 起源”提供了有力的小分子进化依据⁷。

生物演化过程的起始于生物大分子的出现。目前, 国际上主要存在两种观点, 即“Metabolism first”和“Replication first”, 也就是“蛋白学派”和“核酸(DNA 或 RNA)学派”。前者认为原始的生命过程主要是通过蛋白质来完成几乎所有的反应, 包括通过蛋白合成核酸—现代生命体广泛运用的机制; 后者认为即使没有蛋白存在下, 核酸可以行使蛋白质所拥有的所有功能, 包括合成蛋白质的能力。两种学派之争成为了生命起源研究领域的“鸡生蛋和蛋生鸡”之争。而如何从简单的有机小分子聚合成具有活性的生物大分子, 如蛋白和核酸, 至今仍旧缺乏简单合理的化学模型来解释二者的起源。20 世纪 80 年代初, T. Cech 发现具有生物催化活性的 RNA, 即核酶(Ribozyme)。Ribozyme 具有双重的功能, 既能携带遗传复制的信息, 又能像蛋白质一样催化许多生化反应。随着越来越多具有催化活性的 RNA 的发现, 特别是合成蛋白质的核糖体是核酶的证实⁸, 科学家们开始相信在生命起源的某个阶段, 存在着一个由 RNA 控制的生命世界。因此, 1986 年 W. Gilbert 提出“RNA 世界”假说⁹。2009 年, G.F. Joyce 研究组发现, 人工设计的 RNA 片段在试管中也能高效的进行自我复制, 30 小时内 RNA 分子数增大到惊人的 1 亿倍, 且复制过程不需要外加其它任何化学活化试剂和蛋白质, 为 RNA 的自我进化提供了试验依据¹⁰。然而, RNA 世界假说也存在许多致命缺陷, 比如在原始剧烈的生物前条件下很难以合理的产率从核苷酸出发合成 RNA 分子; RNA 分子的化学性质很脆弱, 很容易发生水解反应; 且 RNA 的催化范围也比较窄等。

尽管在探索生命起源的化学进化过程中, 已经取得了相当的成果, 但是要合理揭示生命本质, 还有很多待解决的问题。如核酸蛋白耦合关系并没有得到合理解释; 遗传密码子起源研究只停留在字母扩充上, 缺少化学和物理依据。在更具体的领域, 如: 手性起源与生命起源问题; 蛋白质骨架只用左旋 α -氨基酸, 而不用 β -及 γ -氨基酸; 核酸骨架用核糖, 而不用其它种类的糖, 如葡萄糖等; 为什么 DNA 和 RNA 采用磷酸二酯键作为基本骨架等等问题, 都还没有得到合理的解释。

生命的出现与进化

什么是生命? 美国航空航天局 NASA 在星际探索和搜索生命时对生命所下的定义是: 生命是能够经历达尔文进化的一种自我维持的化学系统。这一漫长的生命形成和演变经历了化学演化→生物演化(生物小分子→生物大分子→简单生命体系)→物种演化(复杂高等生物形成)的基本锁链。当生物大分子出现后, 简单生命体系的出现是从化学进化到生物进化的一个关键性过渡行为。但最早的生命体有是什么样的呢?

20 世纪 70 年代末, 科学家发现数十个深海热泉生态系统。在这些热泉生态系统里生活着众多的生物, 包括管栖蠕虫、蛤类和细菌等生物群落。这些生物群落生活在一个高温(热泉喷口附近的温度可达到 300℃ 以上)、高压、缺氧、偏酸和无光的环境中, 且有大量的硫化物、CH₄、H₂ 和 CO₂ 等存在, 与地球形成时的早期环境相似。因此, 部分学者提出了“热泉生态系统”假说, 认为生命的起源或与热泉生态系统有关。热泉喷口附近的环境不仅可以为生命的出现以及其后的生命延续提供所需的能量和物质, 而且还可以避免地外物体撞击地球时所造成的有害影响, 因此热泉生态系统是孕育生命的理想场所。但另一些学者认为, 生命可能是从地球表面产生, 随后就蔓延到深海热泉喷口周围。以后的撞击毁灭了地球表面所有的生命, 只有隐藏在深海喷口附近的生物得以保存下来并繁衍后代。无论如何, 这些在极端条件下生存的物种, 尤其是各种古菌, 虽然不是地球上最早出现的, 但却是最接近所有生物的共同祖先, 生命树之根 (Last Universal Common Ancestor, LUCA), 的物种。所幸的是, 近年来, 全基因组数据的日益丰富和生物信息学的蓬勃发展为寻根提供了一个新的契机。

国内外研究新进展

生命起源与进化是一个古老的科学命题。1972 年 2 月 29 日, 国际生命起源研究协会 (International Society for the Study of the Origin of Life, ISSOL) 在美国华盛顿成立。从此, 生命起源与进化研究逐步进入了一个有组织的国际合作研究阶段。随着人类探索太空时代的到来, 国际上新一轮关于生命起源与进化的研究和空间生命探索热潮正在兴起。2005 年, 第十四届国际生命起源大会 (ISSOL'05) 在北京清华大学召开, 赵玉芬院士任大会主席。随后, 在赵玉芬院士、刘志恒教授和庄逢源教授等的不懈努力下, 我国首个以生命起源与进化为目标的学术组织, 空间生命起源与进化专业委员会, 于 2007 年 12 月在厦门大学正式成立。该专委会是空间科学学会下的专业委员会之一, 旨在集中我国各领域的专家, 建议、组织开展和积极参与国家及国际上生命起源与进化相关的基础性探索和应用性研究, 建立一个较完善的, 具有国际影响力的生命起源与进化研究平台和研究团体。

2008 年 8 月, 第十五届国际生命起源大会 (ISSOL'08) 在意大利佛罗伦萨 (Florence, Italy) 召开。这次会议由国际生命起源研究协会 ISSOL 和国际太空生物学学会 (the International Astrobiology Society) 联合举办, 凸显了空间科学在新时期生命起源与进化研究中所扮演的重要角色。会议从 10 个不同方面来展示和解读生命起源与进化的奥秘:

1. 行星的演变 (Planetary Evolution)

2. 前生命时期的化学合成 (Prebiotic Syntheses)
3. 遗传信息起源 (Origins of Genetic Information)
4. 手性起源 (Origins of Homochirality)
5. RNA 世界 (RNA World)
6. 早期的生物进化 (Early Biological Evolution)
7. 前细胞时期的生物进化 (Precellular evolution)
8. 天体生物学和生命搜索 (Astrobiology and Search for Life)
9. 可居性与极端微生物 (Habitability and Extremophiles)
10. 历史与哲学探讨 (Historical and Philosophical Aspects)

在化学分子到生命分子演化的基础研究方面,近年来国内外的研究主要体现在以下三个方面:(1)对空间物质的探索。在这一领域,以美国 NASA 为代表的发达国家高水平研究机构开展了一系列深入的研究,取得了令人惊叹的成果。NASA 的 D.P. Glavin 博士通过分析彗星样品,寻找到了氨基酸。法国巴黎大学的 Y.Y. Guana 博士通过紫外线光谱研究外太空有机物的光化学特征。美国 NASA 的 J. Dworkin 博士实验室通过红外分析星云和宇宙尘埃的分子组分,以期得到太空生命起源的线索。在行星生命探索方面,自从上世纪 60 年代以来,美国、俄罗斯及欧洲等航天大国和地区已向火星发射了 30 多个无人探测器,其中很大一部分工作就是在寻找生命物质。最近, NASA 对火星进行了探测 (phoenix mission), 获得 H_2O 及其他小分子物质存在于火星的大量信息^{11, 12}。据报道,印度也提出了计划,拟在 2012-2013 年发射火星探测器;而我国则计划与俄罗斯合作开展相应火星探测研究,这将弥补我国在空间生命探索研究上的空白,极大地促进我国空间生命起源研究的多元化深度发展。(2)模拟地球原始条件下各种生命物质的起源研究。如捷克科学院的 J. Cihelka 博士在实验室通过布拉格激光器 (PALS, Prague Asterix Lager System)模拟原始大气中存在的各种射线以及陨石碰撞高能环境,并用气相色谱实验发现通过激光照射 CH_4 、 N_2 和 D_2O , 生成乙炔、乙稀、丙稀醛、丙二稀、氰化氢等有机物。(3)模拟太空条件下生命物质的起源研究。如法国的 G. Danger 博士在实验室模拟星云环境,应用天体物理学技术研究从无机世界到生物起源的化学进化过程。这些成果对诸如氨基酸、核苷等生物小分子的起源问题给出了较为合理的理论和实验支持。遗憾的是,类似的研究,目前在国内少见报道。

在生物分子起源与进化方面,英国科学家 J. D. Sutherland 等经过近 20 年的研究,发现通过多步反应可以从有机小分子,如 NH_2CN , 羟基乙醛等出发高产率合成核苷及相应的核苷酸,从而为生命的“RNA 起源”提供了有力的小分子进化依据¹⁰。2008 年,

J. Bada 等运用现代分析手段对 55 年前米勒试验保存的火花放电样品进行了重新分析, 结果发现了种类更多, 结构更复杂的氨基酸和大量的有机胺类化合物, 如具有芳环结构的苯丙氨酸等¹³。在国内, 有相当多的学者从不同学科角度开展了相应研究工作, 取得了丰硕的成果。厦门大学赵玉芬院士实验室研究发现 N-磷酸化氨基酸与核糖核苷能够相互作用并同时生成小肽和寡聚核苷酸, 这一成果在美国国家科学院院刊 *PNAS* 上受到好评。该研究组同时提出, 利用 N-磷酸化氨基酸系统来研究遗传密码子起源这一创新思路。厦门大学纪志梁教授对包括古菌、细菌和真核生物三个生命领域在内的 500 多个现代代表物种的全基因组开展生物信息学分析, 统计其中 20 个 α -氨基酸的使用频率, 从而推导出氨基酸的可能出现时序及进化路线。山东科技大学的张红雨教授和北京师范大学的林魁教授则分别以金属辅因子为分子化石及蛋白质结构域的架构出发, 追踪蛋白质的起源及功能进化。

在化学及生物分子的手性选择方面, 目前国际上对单一手性的起因主要有两种观点: 随机起源说和场效应说。虽然实验研究表明单一对映体可以通过结晶、手性试剂或源(包括光和磁)诱导、不对称催化、手性放大和绝对不对称合成等方法获得; 但是, 这些方法对生命进化过程中对映体优化的解释仍存在争论。最近, 日本神户大学的 Y. Izumi 博士发现在紫外线照射下, L-丙氨酸能发生消旋反应, 并生成二肽; 因而提出生命中的手性同一起源是在外消旋氨基酸混合物的存在下进行的。奥地利因斯布鲁克大学的 D. Fitz 博士通过无机盐 (CuCl_2) 催化氨基酸聚合反应的研究, 认为铜离子与氨基酸形成配合物后, 由于配位中心的不对称性, 导致对氨基酸存在手性选择。俄罗斯的 V.I. Burkov 博士则采用同步辐射研究氨基酸的不对称反应来揭示手性起源。在国内, 2008 年 10 月, 经中国科学院研究生院何裕建教授与厦门大学章慧教授及苏州大学杨永刚教授等有关学者, 来自北京大学、南京大学、厦门大学、复旦大学和中国科学院等全国各地的四十余名专家学者及研究生欢聚一堂, 参加了“2008 年全国分子手性起源与识别学术研讨会”。二十余位学者作了会议学术报告。会上何裕建教授提出了“天然地球轨道手性力场”的概念, 认为它与导致生物分子手性起源及不对称组装相关联。

从无生命向生命的演化是生命起源与进化过程中至关重要的一环, 是从化学进化到生物进化的一个关键性过渡行为。从 DNA 双螺旋结构被阐明以来, 人们对生物体系中的自组织和自组装现象就倍加关注, 其中的以病毒为对象的自组装研究和原始细胞模型研究最具代表性。最早进行病毒组装研究的是烟草花叶病毒 (*Tobacco mosaic virus*, TMV), 发现人工构建的病毒粒体与天然粒体没有区别。目前, 脊髓灰质炎病毒、流感病毒等近 20 种病毒的体外重建获得成功。迄今所进行的病毒装配研究绝大部分都是在体外进行的静态自组装。我国在自组装方面的研究也取得相当大的进展, 如 2004 年上海交通大学颜德岳教授的《形成宏观管子的超分子自组装行为研究》在 *Science* 上发表。近年来, 浙江工商大学食品生物工程学院邓少平教授等学者也尝试从生物、化学、材料学等角度来研究元细胞 (Protocell) 存在的可能。该元细胞分子体系理论上能在没有信

息指导下进行胞体自复制,这是纯粹遵从基本的物理学或物理化学简单原理自发地实现的自复制。

生命树之根(LUCA)是现存生物的共同祖先和最原始简单的生命体。通过寻找可能的生命树之根不但有助于揭示从无生命到有生命的演化机制,在对生命现象和规律的研究上也有重要的意义。近年来,许多证据都暗示,极端条件下,如类原始地球条件的高温、高压、高硫、或强辐射等,生存的微生物可能是最接近 LUCA 的物种。香港科技大学王子晖在其提出的遗传密码子-氨基酸共进论基础上分析了60种生物全基因组系列中的 tRNA 序列及氨基酸-tRNA 合成酶序列与反密码子的使用,在生命之树上找到了在古菌范畴内最接近甲烷嗜高热菌(*M. kandleri*)的生命之根的位置。浙江大学的华跃进教授则关注耐辐射球菌(*D. radiodurans*)超强的辐射抗性与快速修复能力的分子机制研究。

“寒武纪大爆发”是动物进化史上的里程碑,现在生活在地球上的各个动物门类几乎都在早寒武纪相继出现。沉积学和地球化学研究显示,海洋化学和物质循环在寒武纪和前寒武纪之交发生了巨大的变化,这些改变可能为“寒武纪大爆发”提供了有利的环境背景。尽管科学家们对“寒武纪大爆发”的机制提出过很多假设,但目前还没有一个清晰的和令人信服的解释。我国南京大学陈均远教授等科学家对包括脊椎动物在内多细胞动物起源和早期演化研究做出了突出贡献,其中一部分工作获我国2003年度国家自然科学基金一等奖。文昌鱼是现生动物中与脊椎动物亲缘关系最近的姊妹类群,是研究脊椎动物起源与进化关键的物种,在生命进化研究中占有着不可替代的地位。近年来,南京大学陈均远教授、厦门大学的王义权教授等学者已开始了以文昌鱼为模式,研究骨骼、神经及免疫系统的分化、发生起源的分子机制的工作,并尝试联系它们与地球环境之间的关系。

我国生命起源与进化研究之展望

生命起源与进化是当今世界科学难题之一,此项研究是显示国家科研实力和科技发展水平的一个重要标志,也是《国家中长期科学和技术发展规划纲要》指出的基础研究中科学前沿问题之一。随着“神六”的成功发射和一批重大航天科技计划的启动,对宇宙资源的开发和空间生命的探索将成为我国航天科技的重要研究内容。

空间生命探索中生命起源与进化的研究是宇宙资源开发和扩展人类生存空间的需要,甚至关系到国家和人类生存的安全。我国已成功发射和回收了载人神舟飞船,成为了航天大国。但是发射飞船只是手段而不是目的,手段完善之后,如何充分利用好它便成为下一个重要的课题。根据发达国家的经验,飞船及空间探测器的一个非常重要的用

途就是宇宙资源的开发和空间生命的探索。多年来,美国的 NASA 不遗余力对火星发射了近 50 个探测器,并已在火星上找到了水存在的证据;欧盟科学家则对彗星,陨石等天体物质进行了深入探测,并发现氨基酸在以上各天体中存在的证据;而法国等国则对土卫 Titan 专门发射了探测器并发现了 CH_4 , HCN 等 150 余种分子,对生命起源研究具有极大的推进作用。这种对太空生命的探索热潮背后,一个又一个激动人心的改造月球,改造火星的计划不断出台。人们正为人类有朝一日走出地球,移民宇宙做着各种各样的准备,也为争夺宇宙资源埋下伏笔。作为一个航天大国,我们不应错失如此对我国具有长远战略利益的机会。此外,开展这一方面的研究不仅可以积极参与空间资源的开发利用,同时为防止可能存在的生物武器威胁提供必需的科技支撑。

空间生命探索中生命起源与进化的研究有助于了解太空条件下生命现象变化规律。地球生命的产生与进化是地球演化的结果,生物进化是有机体适应不断变化的环境而出现的自我变革与更新的过程,最终产生了地球生命的最复杂类群-脊椎动物。同样人类自身也是地球生命进化的产物,其躯体结构和生理特征非常理想地适应了地球环境。如果从单一环境影响-重力对生物进化作用来看,水生生物到陆生生物的进化其实就是不断对抗重力进而承受更大重力的过程。当人类离开地球环境深入太空后,原本适应地球环境的结构和生理特征遇到一系列不适应,引发宇航员进入太空后遇到肌肉萎缩、骨质疏松等问题。已有的空间生物学研究还显示,相比于真核生物细胞功能的下降,细菌和病毒等低等生物在太空条件下,有更强的生命力,病原微生物的致病力有所增强。要想使人类适应微重力的太空环境进而移民外太空,很有必要进行以下研究:一方面从生物进化的角度研究脊椎动物的起源,揭示脊椎动物器官系统发育和对重力环境的适应机制,另一方面在太空环境下研究不同物种对微重力的响应,揭示重力在生物进化过程中的作用,发现调控、响应重力的基因。以上研究将为空间生物技术如航天医学、航天制药等提供重要基础支持。

生命起源与进化的研究是一项前沿课题,也是科学技术创新的主要源头之一。生命起源、物质起源与宇宙起源一道并称为当今世界三大难题,也是当之无愧的世界科技前沿领域之一。由于其高度交叉性,涵盖的学科领域包括化学,生物,地质,考古,航天,数学及物理等几乎所有自然科学门类。对它的深入研究将广泛带动一系列学科的发展。对它的关键问题的突破,如蛋白、核酸及遗传密码子的起源、手性选择、生物大分子和病毒的自组装等问题的分子机制的充分了解,不仅可极大提高人类对自然规律的认识水平,也必将产生一系列新方法、新技术,并应用于科学与经济的发展中。

总之,生命起源与进化的研究是综合性的前沿科学,生命起源与进化和空间生命探索的研究符合我国科技发展战略。在我国现有的基础上,组织一批精干的、多学科交叉的研究队伍,不失时机地发展生命起源与进化的研究,将会取得国际上有重要影响的成果,对我国在基础学科的发展产生积极的推动作用。本项目在国家基础性、前瞻性研

究整体布局中占有重要的地位,符合《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的精神。集中生物学、化学、地质学、航天学等不同领域的专家,加速开展我国在该领域的研究工作,将在未来的生存空间竞争中立于不败之地。

参考文献:

1. Book of abstracts for the XV international conference on the origin of life (ISSOL2008). August, 2008; Florence, Italy.
2. Zimmer C. On the origin of life on earth. *Science* 2009, 323, 198-199.
3. Joyce G. The antiquity of RNA-based evolution. *Nature* 2002, 418, 214-221.
4. Trifonov EN. Consensus temporal order of amino acids and evolution of the triplet code. *Gene* 2000, 261(1):139-151.
5. Miller SL. A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science* 1953, 117(3046):528-529.
6. Szostak J. W. Systems chemistry on early earth. *Nature* 2009, 459, 171-172.
7. Powner M. W., Gerland B., Sutherland J. D. Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically conditions. *Nature* 2009, 459, 239-242.
8. Cech T. R. The ribosome is a ribozyme. *Science* 2000, 289, 878-879.
9. Gilbert W. The RNA world. *Nature* 1986, 319, 618.
10. Tracey A. L., Joyce G. F. Self-sustained replication of an RNA enzyme. *Science* 2009, 323, 1229-1232.
11. Smith P. H., *et al.* H₂O at the phoenix landing site. *Science* 2009, 325, 58-61.
12. Hecht M. H., *et al.* Detection of perchlorate and the soluble chemistry of martian soil at the phoenix lander site. *Science* 2009, 325, 64-67.
13. Johnson A. P., *et al.* The Miller volcanic spark discharge experiment. *Science* 2008, 322, 404.