

生命起源 与进化

康育义 编著

南京大学出版社

生命起源与进化

康育义 编著

南京大学出版社

1997·南京

内 容 简 介

《生命起源与进化》是南京大学全校学生文化素质教育课的教学参考书,它涉及了生物学、生物化学、天文学、宇宙空间探测、地质学、地层学、古生物学以及哲学诸学科知识,反映了人类关于生命起源与进化问题的研究现状和最新成就。本书从生物化学、天文学和地质学三个角度去论述生命的本质以及生命发生的条件,从宏观到微观阐述了生命起源与进化问题。例如,遗传复制 DNA 的结构, DNA 碱基对的作用,光合生物的光合器之产生与进化,光系统的变化与生命进化关系,磷在生命的化学实现中的调控中心地位等等,都是在微观尺度范围内进行的。书中还以大量生命化石作为证据,阐述 38 亿年来生命从无到有产生出来,以及 35 亿年来生命进化的发展历程。此外,还根据编著者多年教学研究成果,对地球的岩石圈、大气圈、水圈的起源与演化问题,地质时间-生命进化-全球生态系的演进问题等进行系统阐述,提出许多自己的见解。

本书可供高等学校学生文化素质教育课的教学参考书,对各级党政领导人,科研人员,新闻工作者等也有重要参考价值。

生命起源与进化

康育义 编著

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮政编码:210093)

江苏省新华书店发行 江苏地质测绘院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12.125 插页 1 字数 305 千

1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—3000

ISBN 7-305-03116-X/Q·24

定价:15.00 元

生命起源与进化

匡亚明题

目 录

第一章 引 论	(1)
第二章 生命起源的化学基础	(7)
一、生命的基本元素	(7)
二、组成生命的有机物质	(7)
三、低分子量的生物有机化合物的形成	(25)
四、高分子量的生物有机化合物的形成	(32)
五、酶及其生化作用	(34)
六、有机化合物的光学活性问题	(35)
七、光合器的形成与光合系统的进化	(36)
八、遗传复制的化学本质	(39)
第三章 有关生命起源的几种学说	(43)
一、从自然发生说到生源论	(43)
二、天外起源说	(44)
三、细胞论和机体演化论	(44)
四、生命起源的现代理论——化学进化论	(47)
五、化学起源的三大分支学说	(57)
第四章 生命起源的天文学背景	(60)
一、银河系和宇宙	(60)
二、星际物质	(63)
三、星际分子	(63)
四、太阳系的物质分异	(65)
五、彗星和陨星资料	(67)
六、太阳系行星的大气比较	(71)
七、生命产生与存在的天文学解释	(72)
第五章 生命起源的地质学背景	(74)
一、地球的年龄与发展阶段的划分	(74)
二、原始地壳的性质和早期演化	(78)
三、关于大气圈起源与演化问题	(83)
四、水圈的起源与原始水圈的条件	(87)
五、原始地球的能源	(88)
第六章 生命起源与地史早期(前显生宙)生命进化的实证	(91)
一、化学进化与生命起源	(91)
二、前显生宙的化石记录与生命早期进化	(94)
三、分子古生物学的印证	(104)
第七章 地史后期生命进化的实证	(108)

一、动物由无壳到有壳的进化	(108)
二、动物从无脊椎到有脊椎的进化	(119)
三、植物的登陆	(124)
四、陆生植物的进化历程	(128)
五、脊椎动物的登陆	(144)
六、脊椎动物进化的实证	(146)
七、人类的起源与发展	(162)
第八章 地质时间、生命进化与全球生态系统的演进	(166)
第九章 生命起源与进化研究存在的主要问题和评述.....	(168)
一、化学进化阶段存在的主要问题和评述	(168)
二、生物进化阶段存在的主要问题和评述	(171)
附 现代动、植物细胞之结构	(185)
主要参考文献.....	(187)
后 记.....	(189)

第一章 引 论

我们这本书,故名思义,是关于研究生命是如何来的,以及它们又是如何演变成今天看到的世界万物的科学。也许大家会问,什么叫生命?的确,要给生命下一个简单而明了的定义是不那么容易的。但是,为了便于问题的研究,我们还从纷繁复杂的生命世界中,对生命的本质下一个定义。笔者以为,生命是那些具有新陈代谢和遗传复制能力的体系。这个体系从最简单的单细胞生命体到最复杂的人体,都是具有以上两个基本功能的。地球是太阳系中唯一有生命的天体。我们的地球已经存在 47 亿年了。作为太阳的行星,它还将继续存在下去,至少还要再过 50 亿年,才会和太阳一起走完它作为行星一生的路程。地球上的生命,包括现在人们看到的细菌、动物界和植物界,是怎么来的?这就是属于生命起源探讨的问题。生命起源,作为当今自然科学三大基本理论(天体演化、物质结构和生命起源)问题之一,它曾经并且继续吸引许多地质古生物学家、生物学家、生物化学家和天文学家的浓厚兴趣,也曾经引起哲学家的兴趣。近百年来,自然科学的进步,对生命起源问题的研究也取得相应的进展。现在,一幅关于生命起源的蓝图已经绘出,尽管还存在不少缺陷,还有很多很多未解决的问题,但是毕竟比较令人满意的勾画出来了。大的框架有了,下面的工程就是留给后来者去解决的问题。

在日常生活中,人们往往在争论鸡和蛋孰先孰后问题。无鸡便无蛋这是常理,既无蛋何来之鸡?似乎也对。看来这类问题的争论是永远也无法得出结论的。其实,这是一个生命起源问题。

人类对生命起源问题的思索,或许从人类出现之后不久便开始了。可惜,我们至今仍然不可能具体的指出来。原因是占人类 200 万年历史的绝大部分时间(99.5%),人类处于旧石器时代,先民们只遗留下一些最原始的生产工具——石器,其他诸如文化艺术,思想意识,哲学宗教等,都没有任何标志遗留下来供我们考证。1 万年以来,人类进入新石器时代,文化遗存较丰富,反映经济生活、精神文化生活和思想意识方面的内容,较多的保存下来。例如,中国西安市东郊有一处著名的新石器时代遗址,叫做半坡文化遗址,¹⁴C 年龄距今大约 7000 年,属于新石器时代中期,中原地区仰韶文化的早期类型。半坡文化很重要一部分是各种花纹的彩陶艺术,最突出的彩陶画是各种形态的鱼纹和人面纹,他们把鱼夸张抽象成威武的几何形鱼纹,表现七千年前的半坡人对鱼的崇拜。其中有一幅画的是人面鱼形合体纹,外部轮廓画的是鱼头形,鱼头里面却画着人的双眼、鼻子和嘴(图 1-1)。据考古学家分析,这幅人面鱼形合体纹有着特殊的含义,也许含有“寓人于鱼”之意。换言之,在半坡人看来,他们的祖宗是鱼变来的。相似情况在中国南方的钱塘江南岸,浙江余姚河姆渡文化遗址中见到。七千年前的河姆渡人在他们的许多骨雕、象牙雕刻艺术中,精心刻制了许多鸟的花纹,其中一把匕首的骨柄上刻有双鸟连体对称纹。毫无疑问,这把独一无二的鸟纹雕刻匕首,不但代表权利的象征(氏族首领拥有),而且是河姆渡人氏族的徽号,表明河姆渡人对鸟的崇拜。在另外一件象牙雕刻中,刻着双鸟朝阳的图案,这又间接证明,河姆渡人崇拜鸟,鸟是他们的祖先(图 1-2)。原始人类对自然物的崇拜现象,我们在现今一些后进的土著人中可以找到证明。例如,现今新几内亚的马德林-阿尼姆部落对鸟的崇拜,他们认为他们的祖先是长着人头的鸟,是

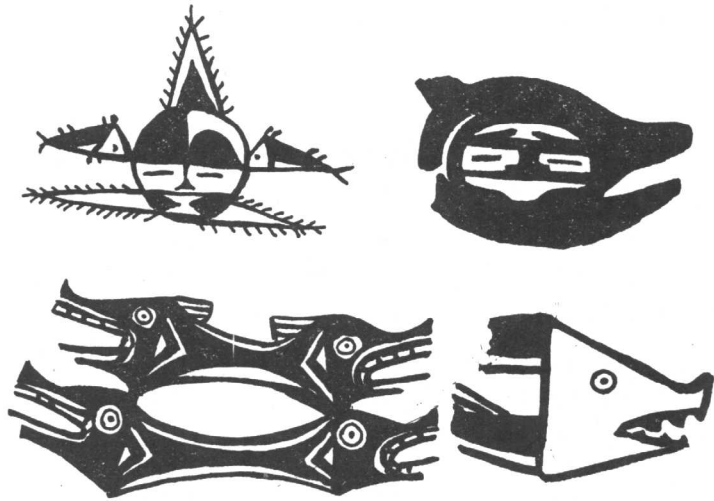


图 1-1 半坡文化彩陶艺术(7000 年前)
(据《西安半坡》)

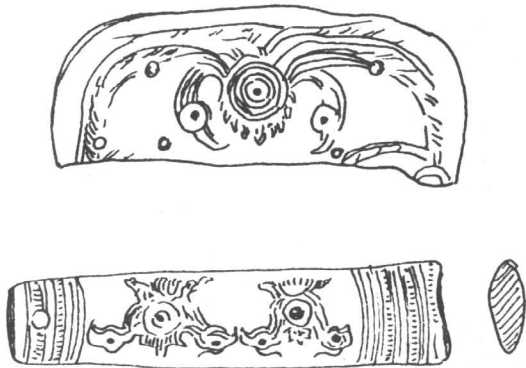


图 1-2 河姆渡文化的骨雕和象牙雕刻(7000 年前)
(据浙江省博物馆等)

从鸟变来的。原始人类对某一自然物的图腾崇拜,反映早期人类对自己的来源所产生的一种最原始的思辨,而且是一种异想天开的甚至会被认为愚昧的思辨。但是我们要指出,原始人类的图腾崇拜许多是带有朴素唯物主义的,我们不能用今日的科学进步去苛求我们的先民。

其后,在中国上古三代流传有“盘古开天”之说,这个神话故事后来在三国时期(公元 184 年~316 年),被徐整记载在他的《三五历记》一书中。盘古氏在我

国古代人民心目中,是一个生于混沌宇宙中的神灵,他力大无比,双手执斧头开天辟地,每日开天天高一丈,辟地地厚一丈,他也每日长高一丈,他顶天立地开辟不止,他共活了一万八千岁,从此天变得极高,地变得极低极厚。盘古氏死后,他的身体各部分变化为日月、星辰、风云、山川、田地、草木、金石等,成为我们今天看到的世界。这段神话故事生动反映中国古代人民对生命万物起源的认识,已经由原始的思辨进入了第二个阶段——神创论阶段。类似神创世界万物的思辨,在 3500 年前犹太人中出现,后来这些传说被收录到《旧约书》(圣经)中。圣经的开篇“创世纪”就是讲上帝耶和华在六天中如何创造世界万物的。大意是这么说的,起初上帝创造天地,地是空虚混沌,渊面黑暗的,上帝创造了光,把光和暗分开,形成白天和黑夜;第二天,上帝造出了空气,并称空气为天;第三天,上帝把天下的水聚在一处形成海,使地露出水面而成陆地,并在陆地上造出青草和蔬菜、树木等;第四天,上帝造出两个大光,大的管白天为日,小的管晚上为月,又造出众星布于天空;第五天,上帝造出水中的各种动物,空中的飞鸟;第六天,上帝又造出野兽、牲畜和地上一切昆虫,最后又按上帝自己的形象和式样造

出人(男人和女人)。天地日月星辰和地上万物都造完备了以后,第七天上帝休息了,定为圣日,让人和万物都休息。毫无疑问,古犹太人和古希腊人心中的上帝,和中国的盘古氏都是神通广大,创造天地万物之神灵。这说明中国和两河流域这两个古文明发源地的先民们,在认识世界过程中,共同由原始的带有朴素唯物主义的思辨,向着唯心主义的神创论发展而去,尽管具体说法不一,但思维发展却是共同的。

与神创论发展的同时,在中国上古三代还出现许多伟大的思想家和哲学家,这是中国思想文化发展的主流,他们的著作留传下来,已成为中国传统思想文化的精华,是一座座博大精深的思想宝库。这里仅引录《周易》和《道德经》中的一些精辟论述。

《周易》是伏羲制卦、周文王系辞,孔子作十翼,历三圣而成,至今至少已有2500年。《周易》是变化之总称。天地开辟,阴阳运行,寒暑迭末,日月更出,乎萌庶类,亭毒群品,新新不停,生生相续,都是变化之力,换代之功。然而,万物之变化皆运行于阴阳二气之中。阴与阳,即现代科学之正负,我们的祖先哲人把繁复多变的世界万物之产生与运行,概括在最简单的阴阳二字之中,比西方提出正负电子早二千多年。《周易·序卦第十》写道:“有天地,然后生万物焉。盈天地之间者唯万物,故受之以屯。屯者,盈也。屯者,万物之始生也。”用现代语言是,先有太阳和地球,然后才出现生命万物。充满天地之间的只有生命万物,它们存在于可以盛水的低洼的地方。因此,海洋湖泊,是生命万物开始生长的地方。《周易·序卦第十》又写道:“有天地,然后有万物。有万物,然后有男女。”明确指出世界万物出现的顺序,现代古生物学所积累的化石资料印证了以上论述。《周易·说卦第九》写道:“动万物者,莫疾于雷。桡万物者,莫疾于风。燥万物者,莫熯于火。说万物者,莫说于泽。润万物者,莫润于水。终万物、始万物者,莫盛于艮。故水火相逮,风雷不相悖。山泽通气,然后能变化,既成万物也”。这里说的是自然现象与生命万物之关系,要特别强调“终万物、始万物者,莫盛于艮”的说法。何谓艮?“艮,东北之卦也,万物之所成终而所成始也”(说卦第九),说的是万物归元的意思,其深刻哲理已为当今自然科学许多事实所验证。

《道德经》为老聃所著,也是2500年前的作品,因开头一句有道和德两字而得名。全篇5291字,后人分为八十一章。《道德经》的核心是一个“道”字。老子在第25章写道:“有物混成,先天地生,寂兮寥兮!独立不改,周而不殆。可以为天下母。吾不知其名,字之曰道,强为之曰大。大曰逝,逝曰远,远曰反……”。用现在语言是说,有一个混然而成的和谐体,早在形成天地以前就存在了,它完满无缺,无声无形无光而寥阔!它是独一无二的,周流不息地运转变动着,永不消失。它是天地万物之源泉和母亲。我不知它的名字,就叫它做道,勉强给它取名为大。大道运行,日夜不停。不停所以为远。天地运行虽是日夜不停,但它的形性却是循环的,演变到很远很远以后,又回归到原来的地方,所以叫做反……。老子的“道”为何物?至今仍然无法具体回答,但它却是万物之母。他在第42章写道:“道生一,一生二,二生三,三生万物”。又云:“天下万物生于有,有生于无”(第40章)。笔者认为,老子的“道”具有层次观的。换言之,站在不同层次上审视“道”具有不同的内涵。例如,站在太阳系层次而言,道就是原始太阳星云,它是生成太阳系,生成地球及万物之源,因此这个道就是“有”;最初应有一个超新星爆炸形成星云,星云凝聚为太阳系,阴负阳抱而生万物。又如,站在地球上生命之起源,道则有双重含义,既“有”又“无”:地球开始并没有生命,生命是由无机→有机,由生命有机低分子→高分子→原始生命,即由化学进化而产生生命,故而生命从无到有创生出来,道等于无。第二层含义是,如果从物质存在角度看,生命元素C、H、O、N、S、P本身是物质,是“有”,生命从有形态的化学元素经化学反应产生,由一种形态的物质变为另一种形态(更复杂更完

备)的物质,道等于有。再如,站在整个宇宙这个终极层次审视道,那么,“道”就是“无”了。根据宇宙物质演变所需时间推知,宇宙年龄小于200亿年。那么200亿年前又是什么?我们大概只能说,宇宙在诞生之前什么也没有。没有时间,没有空间,也没有任何物质。这样,宇宙创生于无!即老子的“有生于无”。换言之,宇宙从无到有,从奇性爆发顺序产生时空—粒子—光子—核子—原子—星系。生成无数星系、星系团和超星系团。老的星系毁灭了,新的星系又产生出来,道生一,一生二,二生三,三生万物,生生不息,周而复始,永无止境。至此,人们会问宇宙空间还有生命?像地球这样有生命的行星在宇宙中有多少个?根据老子哲学,只要符合类似于地球条件的行星,必定会从道中生出万物来的。因此,结论是生命应当是宇宙中有条件的存在形式,是在一定条件下普遍存在的一种特殊的化学结构形式。这样,宇宙中存在生命的行星数量可用 $Pl=N_1-N_2$ 表示(式中 Pl 为具有生命的行星数; N_1 为宇宙行星总数; N_2 为不具有存在生命条件的行星数),因为 N_1 为无限大,所以在宇宙中具有生命的行星数也是一个不可计数的无限值,我们的地球再不是孤独的,在广阔无垠的宇宙中存在着无数具有生命的星体,豁然开朗!

2500年前的春秋战国时代,是中国思想活跃的一个时期,出现诸子百家争鸣的局面。与此情况相反,神创论却在很长历史时期统治着西方的思想,上帝创造世界万物的“圣经”在长达一千多年漫长岁月里,成为神圣不可犯戒的教规,谁要是触犯,在唯物主义道路上迈出一步,就会引起杀身之祸。公元1543年哥白尼发表《天体运行论》一书,提出日心地动说,从根本上动摇了地心说,向中世纪反动教会提出最严峻的挑战。因此,哥白尼是冲破宗教牢笼的勇士,是思想解放的伟大旗手。这场与反动神权进行剧烈的斗争中,许多优秀的科学家惨遭教会的杀害,但却激发更多人为追求真理而斗争。

1859年达尔文发表《物种起源》,标志人类在认识自然又前进一步,它是生命科学上的一次伟大革命。达尔文以无可辩驳的事实,证明物种是变化的,是在自然条件下生物体通过变异的加强和积累而产生新的物种的。自然条件引起物种的变异,当引起变异的环境继续存在时,变异不仅可以保留,还可以通过遗传一代一代地加强起来,终于产生了新的品种。这样,达尔文的进化论便和以往的物种不变论、特创论划清了界线,开辟了生命科学研究的新里程碑。达尔文进化论的中心思想是选择(selection),包括人工选择、自然选择和性选择。

但是,达尔文的进化论明显存在局限性:第一,由于当时生物化学还未出现,他未能回答变异遗传的本质;第二,达尔文所研究的范围仅仅限于生物自身的进化,不可能超越生源论的观念,提出生命起源的途径。关于生命起源的途径,是达尔文《物种起源》发表17年以后,由英国哲学家恩格斯提出的。恩格斯在《反杜林论》这一名著中写道:“关于生命的起源,自然科学到目前为止所能肯定的只是:生命的起源必然是通过化学的途径实现的。”在当时情况下,恩格斯只是作为一种预言,并无实验证明。

第一个根据恩格斯这一论断进行系统阐述的是苏联生物化学家奥巴林(А. И. Опарин),他在1924年发表《生命起源》一书,首次按照唯物主义观点探讨了生命的起源问题,提出“化学进化”(chemistic evolution)一词。他根据“生命是蛋白体的存在形式,这种存在方式本质上就在于这些蛋白体化学组成部分的不断自我更新”(恩格斯),提出了团聚体理论。此后,随着有机化学和生物化学的飞速发展,到本世纪50年代初,美国尤里(H. C. Urey)的研究生米勒(S. C. Miller, 1953)完成他那个著名的模拟实验,才把生命起源的科学研究工作推进到新的发展阶段。到60年代生命起源的化学模拟实验形成高潮。同时,近30年来,随着前寒武纪古生物学的新发现新进展,分子古生物概念的提出及其所取得的探索性成果。也由于

30多年来宇宙空间探测工作取得大量成果,人类的认识从地球扩展到太阳系、银河系,才使得生命起源问题的研究上升到全面综合多学科联合研究的新阶段。有关这方面我们将在以后各章中详细介绍。

这里,我们还想特别提一下中国在生命起源与进化研究方面,所取得的一些令世界瞩目的成果。其中有:

(1)1960年我国首次在实验室里用人工方法合成牛胰岛素,为生物低分子量物质通过非生命途径形成生物有机高分子量物质(蛋白质)做出了肯定的回答。

(2)中国古生物学近年来在前寒武纪化石以及寒武纪以来的古生物研究取得重大成果,这里值得强调的是:19亿年前常州沟微植物群的发现(阎玉忠,1991),证实距今19亿年前就已出现真核多细胞藻类;8亿年前淮南生物群的发现(陈孟莪等,1986),为埃迪卡拉动物群补上了前驱;7.5亿年前震旦系陡山沱组中小壳化石的发现(薛耀松等,1992),为5.7亿年前小壳动物“爆发性”发展提供了进化的源头;80年代中期中国云南澄江县早寒武世早期澄江动物群的发现(侯先光、张文堂、孙卫国、陈钧远等,1985,1987,1989),这是一个非常特别的大壳体动物和软躯体后生动物以及小壳体动物混合共生原地埋葬的化石群。它的发现震动了世界古生物学界。它比加拿大的布尔吉斯页岩动物群早大约1.5~2千万年,对弄清显生宙早期生命的演进提供强有力的证据;华南二叠-三叠纪地层界线研究取得突破性进展(赵金科等,1981),在长兴标准剖面上发现海相生物集群更替之间存在一个中间过渡生物群,为我们了解二叠纪末海生生物绝灭,三叠纪初新兴生物的发生的连续变化过程提供证据;60年代以来,中国中生代恐龙动物群的许多重大发现,尤其是新疆、四川、云南、山东、广东等地不同时代的恐龙动物群的发现,使中国成为产恐龙化石最多最系列化的国家,由此已初步建立了旧大陆东亚地区中生代恐龙的演化系列:①禄丰蜥龙动物群(晚三叠世);②蜀龙动物群(早侏罗世至中侏罗世);③马门溪龙动物群(晚侏罗世);④翼龙-鹦鹉龙动物群(早白垩世);⑤霸王龙-鸭嘴龙动物群(晚白垩世)等五个动物群(董枝明,1980),等等。

(3)1991年,中国年青生物化学家赵玉芬通过对N-磷酸化氨基酸及其肽衍生物的研究,发现了磷上脂交换、磷酸基转位以及自身长大的生命现象,针对这种以磷酸基为中心的有机协同效应在核酸、蛋白和酶的生化过程中所起的作用,提出了“磷是生命化学过程的调控中心”理论(简称磷调控中心论)。1994年,赵玉芬又和曹培生提出“蛋白质和核酸共同起源于磷酸化氨基酸”的理论。赵玉芬和曹培生这一崭新的学术观点,是生命的化学进化观的新思维,堪称是奥巴林以来的半个多世纪生命起源研究工作中又一次革命性的创见,不仅具有理论意义,且有重大经济价值。

(4)1992年2月我国在上海有机化学研究所内建成“生命有机化学”国家重点实验室,这是我国生命有机化学领域水平最高的实验基地,它配备有当今国际上第一流的实验仪器和设备,它的研究方向是以生命过程中具有重要生理功能的有机化合物为对象,从微观角度(分子级水平)入手探索生命的奥秘。

目前对生命起源与进化的初步结论是:生命起源是通过化学进化实现的。在原始地球的条件下,由无机化学元素的化合,进化为有机化合物,由低分子量生物有机化合物进化为高分子量生物有机化合物,也有可能由低分子量生物有机化合物通过磷酸化氨基酸,形成具有生命现象的核蛋白和具有复制功能的核酸,产生原始生命。生命一旦出现便进入生命进化阶段,化学进化随即终止。在生命进化过程中,以下阶段是确定的,即由无细胞形态进化为原细胞,由原核生物进化为真核生物,由单细胞进化为多细胞,先出现植物,后出现动物。在动物

进化中,先无脊椎后有脊椎,由无壳后生动物→有壳后生动物。由无脊椎动物→脊椎动物→人类。生命起源于大约距今 38 亿年前,经历许多重大进化阶段,经历多次大的集群演替和小的更换,老的生命绝灭了,新的生命又辐射产生出来,生生不息,永无止境,最后在 200 万年前出现了人类。由此可见,生命的产生和进化是一个非常漫长的历史过程,绝非任何神灵在数天之内可以创造出来的。

欲知生命起源与进化过程,我们还得先从组成生命的基本物质开始。

生命起源既是涉及行星、星际物质、地球科学、古生物学、生物学、生物化学诸领域的知识,因此有关生命起源与进化的研究,也必定要从多学科综合研究入手方能凑效,任何单一的方法都是无济于事的。笔者深信,在进入 21 世纪以后,生命科学和环境科学的研究将远远超出其他所有学科的研究,作为领头的科学必将为生命的起源与发展,人类生存条件及其与环境的关系提出更为周密的计划和研究成果。人们将变得更理智和远见,将改变贪婪、利己主义和残暴的行为,全球的资源将得到有节制的合理的使用,环境将得到逐步改善,中国的“返璞归真”思想将会作为人类生活的普遍追求原则。因为人类最终会达成一个共识:让我们的子孙千秋万代有一个良好的生存空间,不要人为的创造人类的自我毁灭!

第二章 生命起源的化学基础

迄今为止的宇宙空间探测表明,我们的地球仍然是太阳系内唯一有生命的行星。现代科学研究表明,地球上的生命起源于元素的化学进化,从无机化合物进化为有机化合物,由生物低分子进化为生物有机高分子,最后产生出具有遗传复制能力的原始生命。化学进化的过程所需要的时间非常漫长,大约从地球形成开始以后的数亿年时间。那么,是哪些元素参与进化的呢?让我们审视一下构成生物体的成分。

一、生命的基本元素

地球上有一百多种化学元素,但能有资格加入生命起源的化学进化的元素并不多,主要是C、H、O、N四种,此外还有S、P以及其他一些微量元素。因为组成生命有机体的物质是蛋白质、水分和无机盐三大类。元素分析表明,蛋白质一般含碳50%~55%,氢6%~8%,氧20%~23%,氮15%~18%,硫0%~4%,有些蛋白质还含有微量的P、Fe、Zn、Cu、Mo、I等。就人体而论,组成元素的重量百分比为:C+O+H+N=96%,Ca+P+K+S=3%,I、Mg、Fe、Na、Cl、Cu、Mn、Co、Zn以及其他微量元素仅占1%。这两个数字都充分说明C、H、O、N这四个元素对生命是何等的重要,它们是参加生命起源的化学进化阶段的基本元素。在构成遗传信息的核酸中,磷却起着重要的调控作用,磷在生命起源过程中的关键性作用不容忽视。在原始地球条件下,这些生命元素是如何形成生物有机分子的?在化学进化中,大概需要经历哪些阶段?在回答这些问题之前,我们先着重介绍几种组成生命有机物质的结构和特性。

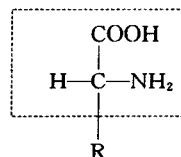
二、组成生命的有机物质

组成生命的有机物质是蛋白质、核酸、脂肪、糖四大类。

(一) 蛋白质

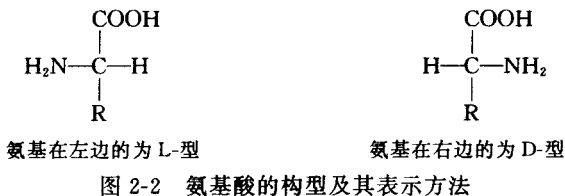
蛋白质(protein)一词是由19世纪中期荷兰化学家穆尔德(Gerardus Mulder)命名的,此词源于希腊语 proteios,意思是“第一重要的”。当时,穆尔德从动物组织和植物体液中提取出一种共同的物质,他认为这种物质在有机界的一切物质中无疑是最重要的,缺少它,我们这个星球上的生命可能就不存在。根据瑞典著名化学家贝泽留斯(Berzelius)的提议,他将这种物质命名为蛋白质。

蛋白质是一类含氮的生物高分子,分子量大,结构复杂。例如,血红蛋白的分子式就是 $C_{3032}H_{4816}O_{872}N_{780}S_8Fe_4$ 组成。可是蛋白质的基本组成单位却是氨基酸,它的结构式很简单,可由 α -氨基酸表示(图2-1)。



图中R为 α -氨基酸的侧链,方框内的基团为各种氨基酸的共同结构。

从上面结构式可以看出,除了甘氨酸的 R 为氢原子外,其他所有 α -氨基酸分子中的 α -碳原子都为不对称的。因此,氨基酸都具有旋光性,能使偏振光平面向左或向右旋转,左旋以(-)表示,右旋者用(+)表示。每一种氨基酸都有 D-型和 L-型两种异构体,决定哪种型式的异构体取决于 α -碳原子上氨基(NH₂)的位置,书写时羧基(COOH)写在 α -碳原子的上方,氨基写在左边的为 L-型,在右边的为 D-型(图 2-2)。必须指出,氨基酸的构型与旋光性之间没有对应关系,各种 L-型氨基酸有的为左旋,有的为右旋,即使同一种氨基酸,在不同溶剂中测定时,其旋光性和旋光方向也会不同。



既然所有的氨基酸基团是相同的,那么氨基酸侧链 R-基的化学结构变化,将是产生并区分各种氨基酸的唯一标志。由水解蛋白质可得知有 35 种氨基酸,其中 20 种是常见的(表 2-1)。

表 2-1 几种蛋白质的氨基酸组成

蛋 白 质 基 酸	清蛋白 (人)	酪蛋白	肌红蛋白 (牛)	胶原蛋白 (牛)	细胞色素 c	胰岛素	核糖核酸酶 (牛)	麦醇溶蛋白	鱼精蛋白	胃蛋白酶
1. 丙氨酸	—	3.0	10.1	10.3	7.9	4.5	6.1	2.1	3.6	4.5
2. 精氨酸	6.2	4.1	1.9	8.2	2.2	3.1	4.0	2.7	66.2	1.0
3. 天冬酰胺	—	—	1.7	—	4.8	—	8.0	—	0.0	—
4. 天冬氨酸	10.4	7.1	4.7	7.0	3.6	6.8	4.5	1.7	0.0	16.6
5. 半胱氨酸	5.6	0.4	0.0	—	2.0	12.5	6.4	2.6	0.0	1.5
6. 谷氨酰胺	—	—	2.8	—	3.3	—	6.4	—	0.0	—
7. 谷氨酸	17.4	23.3	8.3	11.2	5.9	18.6	3.7	45.7	0.0	11.3
8. 甘氨酸	1.6	2.7	8.7	26.2	12.2	4.3	4.0	<0.5	4.1	8.1
9. 组氨酸	3.5	3.1	7.5	0.7	2.5	4.9	3.7	2.3	0.0	0.5
10. 羟脯氨酸	—	—	—	12.8	—	—	—	—	—	—
11. 异亮氨酸	1.7	6.1	5.2	1.9	4.8	2.8	3.2	5.4	0.9	10.0
12. 亮氨酸	11.9	9.2	11.4	3.7	6.2	13.2	1.9	6.5	0.0	10.4
13. 赖氨酸	12.3	8.2	12.8	4.0	15.2	2.5	7.7	1.1	0.0	0.4
14. 甲硫氨酸	1.3	3.4	1.5	1.0	1.7	0.3	3.5	1.7	0.0	2.1
15. 苯丙氨酸	7.8	5.0	4.7	2.4	3.8	8.1	2.4	6.9	0.0	6.7
16. 脯氨酸	5.1	11.3	2.5	14.4	4.2	2.5	4.8	13.4	8.1	4.9
17. 丝氨酸	3.7	7.7	3.9	4.3	3.0	3.2	12.3	4.9	10.8	13.2
18. 苏氨酸	5.0	4.9	3.4	2.3	7.2	2.1	6.9	2.1	1.4	9.5
19. 色氨酸	0.2	1.2	1.3	—	1.0	0.3	0.0	0.6	0.0	3.5
20. 酪氨酸	4.7	6.3	1.3	1.0	4.4	13.0	3.7	3.2	0.0	9.4
21. 缬氨酸	7.7	7.2	4.6	2.5	3.6	7.8	6.7	2.7	5.0	7.1

(引自聂剑初等,1981)

根据侧链 R-基团的化学性质,氨基酸可分为四大类:

(1)脂肪族氨基酸:①一氨基一羧基氨基酸:属于本类的有甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸、丝氨酸、苏氨酸;②二氨基二羧基氨基酸及其酰胺:属于本类的有谷氨酸、谷氨酰胺、天冬氨酸、天冬酰胺;③二氨基一羧基氨基酸:属于本类的有赖氨酸、精氨酸。

(2)芳香族氨基酸:苯丙氨酸、酪氨酸。

(3)杂环氨基酸:组氨酸、色氨酸。

(4)杂环亚氨基酸:脯氨酸。

如果按照侧链 R 基团的不同,20 种常见氨基酸可分为极性氨基酸和非极性氨基酸。在极性氨基酸中,又根据它们在 pH6~7 范围内是否带电,区分为:极性不带电荷和极性带电荷氨基酸(表 2-2)。

表 2-2 氨基酸的分类表

极性状况	带电荷状况	氨基酸名称	缩写符号 (三字)	化学结构式
极性氨基酸	不带电荷	丝氨酸	Ser	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		苏氨酸	Thr	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
		天冬酰胺	Asn	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酰胺	Gln	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		酪氨酸	Tyr	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$
		半胱氨酸	Cys	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带负电荷	天冬氨酸	Asp	$\begin{array}{c} -\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酸	Glu	$\begin{array}{c} -\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带正电荷	组氨酸	His	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \\ \text{HN} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{+} \end{array}$
		赖氨酸	Lys	$\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$
		精氨酸	Arg	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$

极性状况	氨基酸名称	缩写符号 (三字)	化学结构式
非 极 性 氨 基 酸	甘氨酸	Gly	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	丙氨酸	Ala	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	缬氨酸	Val	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
	亮氨酸	Leu	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
	异亮氨酸	Ile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
	苯丙氨酸	Phe	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	甲硫氨酸(蛋氨酸)	Met	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	脯氨酸	Pro	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{N}^+ \\ \\ \text{H}_3 \end{array}$
	色氨酸	Trp	$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_7\text{N} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$

(引自聂剑初等,1981)

α -氨基酸为无色晶体,熔点在 200℃ 以上;大多氨基酸能溶于水,并能溶于稀酸和稀碱中。氨基酸具有两性电离和等电点特性。所谓两性电离是指在一个氨基酸分子上带有能放出质子的 $-\text{NH}_3^+$ 正离子,和能接受质子的 $-\text{COO}^-$ 负离子,即: $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}(\text{R})-\text{COO}^-$ 。所谓

等电点是指当调节氨基酸溶液的 pH 值时,使氨基酸分子上的 $-\text{NH}_3^+$ 基和 $-\text{COO}^-$ 基的解离度完全相等时,氨基酸所带净电荷为零,此时所处的 pH 值就是该氨基酸的等电点。在等电点上该氨基酸溶解度最小,并发生沉淀。各种氨基酸在 25℃ 时的等电点如表 2-3,这对我们了解在原始地球上氨基酸所能接受的介质条件是有意义的。

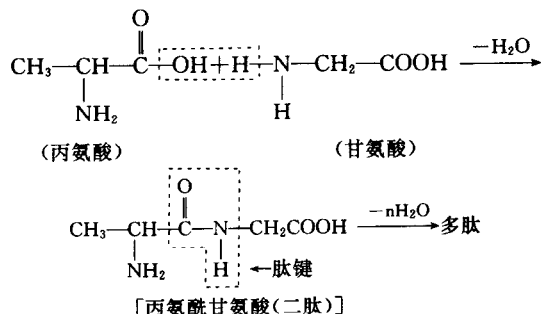
表 2-3 各种氨基酸在 25℃ 时的等电点 (pH)

名称	等电点	名称	等电点	名称	等电点	名称	等电点
甘氨酸	5.97	苏氨酸	6.18	天冬酰胺	5.41	色氨酸	5.89
丙氨酸	6.0	半胱氨酸(30℃)	5.07	谷氨酰胺	5.65	组氨酸	7.59
缬氨酸	5.96	胱氨酸(30℃)	4.60	赖氨酸	9.74	脯氨酸	6.30
亮氨酸	5.98	甲硫氨酸	5.71	精氨酸	10.76	羟脯氨酸	5.83
异亮氨酸	6.02	天冬氨酸	2.77	苯丙氨酸	5.48		
丝氨酸	5.68	谷氨酸	3.22	酪氨酸	5.66		

(引自聂剑初等,1981)

各种蛋白质所含的氨基酸数目和种类各不相同，它们所担负的生命职能，如催化、运输、运动、传感、抗体等，也不相同。因此，生命起源与进化，归根到底是蛋白质的起源与进化。

一个氨基酸的 α -羧基和另一个氨基酸的 α -氨基经脱水缩合而成的化合物，叫做肽(peptide)。氨基酸之间脱水后形成的键叫做肽键，又称酰胺键。由两个氨基酸缩合的化合物叫二肽。缩合反应可以连续进行下去，形成三肽、四肽、五肽……多肽。如：



多肽为链状结构，叫多肽链。蛋白质就是由各种氨基酸通过肽键连接而成的多肽链，再由一条或一条以上的多肽链按各自特殊方式组合成具有完整生物活性的分子。

蛋白质的化学结构是在三度空间内进行的，包括肽链的数目和氨基酸排列次序等。最简单的叫一级结构。下式为蛋白质一级结构的通式(图 2-3)，表示氨基酸的种类、连接方式和排列顺序。

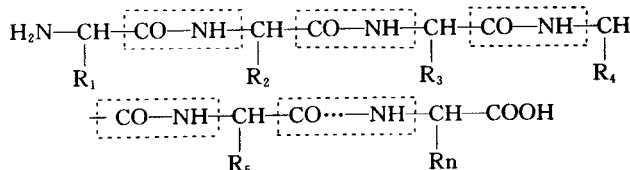


图 2-3 蛋白质的一级结构(框内为肽键)

肽链上的 $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3, \text{R}_4, \dots, \text{R}_n$ 代表各氨基酸的不同侧链上的基团，它们对维持蛋白质分子的立体结构和行使蛋白质的功能起重要作用。从上式可以看到，多肽链上的氨基酸已不完整，因此每个 $-\text{NH}-\text{CH}-\text{CO}-$ 称为氨基酸残基。



1. 蛋白质的二级结构

蛋白质分子的多肽链按一定方式折叠盘绕形成特有的二级结构(图 2-4)。用 X-射线衍射法研究肽模型，测定肽的键长和键角，可得出肽链的三度空间结构。肽键 $-\text{NH}-\text{CO}-$ 带有双键性质，不能沿 $\text{N}-\text{C}$ 键自由旋转，肽键中的四个原子和它相邻的两个 α -碳原子(C_α)都

处于同一平面上，形成 $\begin{array}{c} \text{H} \\ \diagdown \\ \text{N}-\text{C} \\ \diagup \\ \text{C}_\alpha \end{array} \begin{array}{c} \text{C}_\alpha \\ \diagdown \\ \text{O} \end{array}$ 酰胺平面的结构，其中 H 和 O 原子处于 $\text{N}-\text{C}$ 键两侧

形成反式，与 $\text{N}-\text{C}$ 相连的 $\text{N}-\text{C}_\alpha$ 和 $\text{C}-\text{C}_\alpha$ 键都可旋转。因此，肽键实际上是由许多酰胺平面组成，平面之间以 C_α 原子相互隔开，并以 C_α 原子为顶点作旋转运动。所以，蛋白质的二级结构，是指蛋白质多肽链本身的折叠和盘绕方式。

2. 蛋白质的三级结构和四级结构

蛋白质分子在二级结构基础上进一步卷曲折叠，构成很不规则的具有特定构象的蛋白质分子，叫做三级结构(图 2-5)。两条或两条以上具有三级结构的多肽链聚合，形成特定构