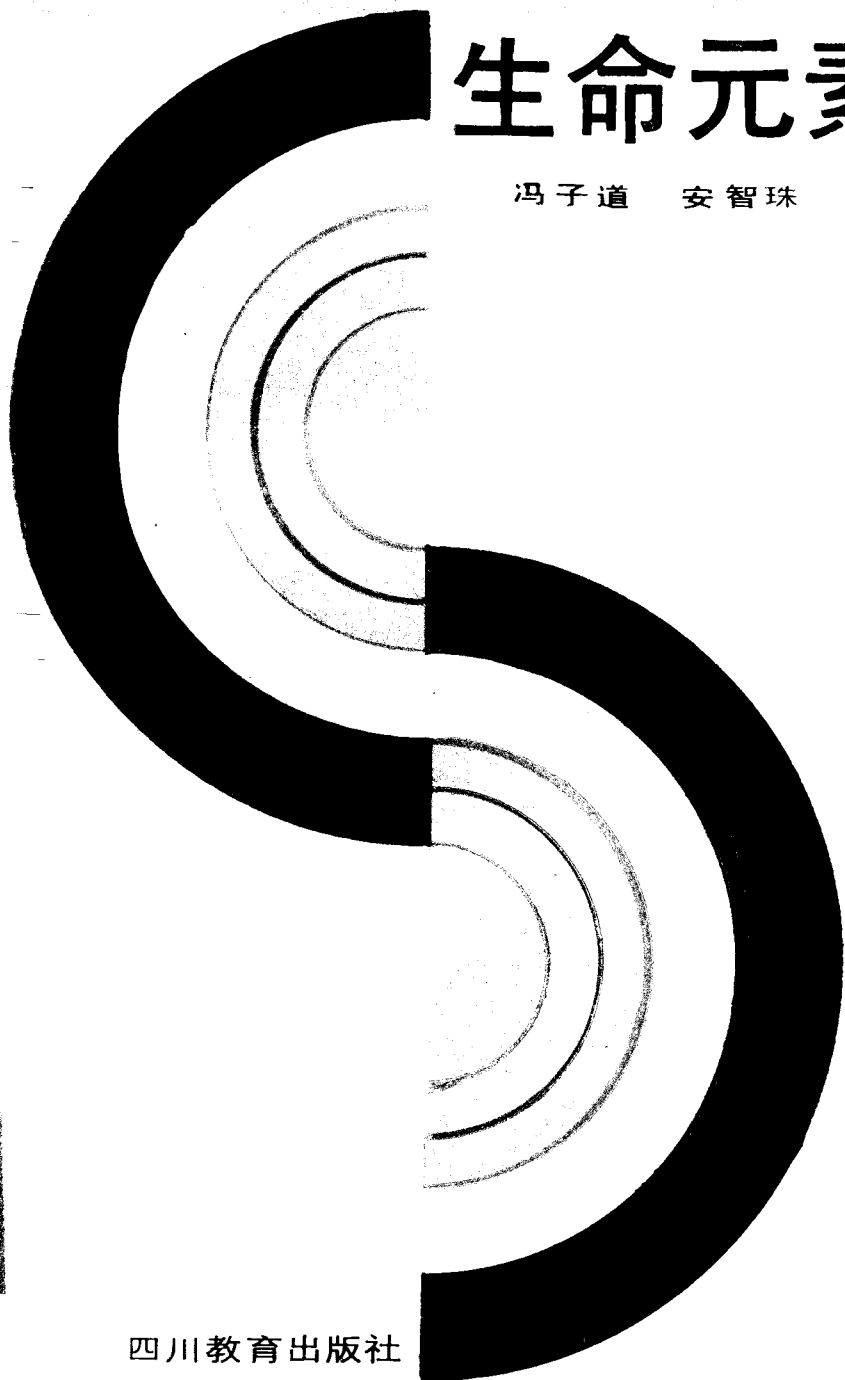


LIFE ELEMENTS

生命元素

冯子道 安智珠



四川教育出版社

责任编辑：张执敬

封面设计：何一兵

版面设计：刘 江

生命元素

四川教育出版社出版发行 （成都盐道街三号）

四川省新华书店经销 成都书林印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张 9 插页 2 字数 224 千

1989年9月第一版

1989年9月第一次印刷

印数：1—1120册

ISBN7—5408—1056—4/G·1026

定价：3.20元

序 言

宇宙中的一切物质，在自然环境中生存、发展、演化着。地球上所有生命都是通过化学变化和演替的途径来实现的，它们与周围环境中的物质背景发生密切联系。我国古代圣哲早就提出“人与天地相参”的整体观念和原则。组成有机生命体的物质，既取决于环境中的物质体系，又与其不断地进行着错综复杂的物质交换和能量交换。总之，生命本身是由化学物质组成的。构成生命和环境体系的化学物质的基本单元是化学元素。

随着科学和技术的迅速发展，人们对化学元素与生命之间关系的认识不断深化，陆续提出各种名词和概念。如痕量元素，稀有元素，少量元素，分散元素，微量元素，以及营养元素，主要元素，大量元素，生命金属，生活元素，必需元素，有机元素，无机元素，非必需元素，非正常元素，毒性元素，有害元素，污染元素等等。在《国外地质》1976年第2期上，作者在“生命元素在人体中的作用”一文中，将它们统一定名为生命元素，并明确生命元素内涵有机和无机，宏量和微量，有益和有害的含义。生命元素是与人体或生物体的生命活动密切相关的化学元素或其化合物，又是生命与环境在不断发生交换过程中的基本组分。因此，生命元素是生命与环境、人类与环境之间相互联系的物质基础，它的性状和数量反映了生命机体的组成、生存、生长、进化、代谢更新、同化异化及世代更替等。

从1972年起，作者综合研究了近几十年来国内外关于生命-元素-环境之间相互作用关系的重要成果，1974年写成长篇论文“生命元素地球化学周期表”。在此基础上，一方面在实践中从地层生命地球化学等方面和对地方病和恶性肿瘤的生物地球化学环境病因进行科学考察；另一方面，在理论上对生命元素与环境的关系

系以及生命信息科学进行了一些研究和探索。

目前,环境生命元素与健康的研究已进入新的发展时期,国内外都有大量成果发表。在本书最后定稿前,我们尽可能将国内外研究的新思想和实验数据综合进来,同时也选用了十几年来作者自己的一些科研成果,并作了若干综合性的分析,力图从中探索出一些有意义的规律。

生命元素属于涉及生物无机化学、生物学、地球科学、环境学、生态学、医学等的新兴边缘学科,内容和应用领域广泛。为系统地介绍这一领域的知识,本书从追溯生命起源与生物演化开始,详细地阐述了生命元素的物理化学和地球化学特性、生命元素周期表、生命元素的生物功能和化学作用、生命元素作用的基本原理和规律,并对癌症、地方病、职业病、心血管病的环境地球化学病因,以及生命元素的抗病作用和防衰机理进行了分析。

鉴于目前尚未建立起完整、独立的生命元素及生命元素地球化学的科学理论和体系,因此,本书的有些章节只是将国内外研究的现状和进展,以及相关的问题、线索、猜想、观点、假说和理论进行系统而客观地介绍,并未作出结论,以期达到广开思路,深入探索和广泛研究的目的。在此,深切希望有志于这一领域的专家和爱好者,能更好地协同作战,深入开展多学科的研究,并不断地取得重要突破。

本书撰写过程中,得到了刘东生、沈同等教授的热情支持,于维汉和罗德元等教授对本书中有关医学和生理生化专业的内容进行了认真审阅,提出了修订意见。在此一并表示深切谢意。

由于《生命元素》涉及的学科内容十分广泛和深入,作者限于研究领域和篇幅,难以尽极,而且书中难免有缺点和错误,敬请不吝指正。

冯 子 道

一九八七年十二月

目 录

第一章 绪论	(1)
一、生命与生命元素	(1)
二、环境生命元素与健康概述	(12)
第二章 生命元素周期表及生命元素的周期性特性	(20)
一、生命元素的物理化学特性	(20)
二、生命元素周期表	(28)
三、生命元素的拮抗协同作用	(30)
四、生命元素的周期性特性	(36)
第三章 生命元素的生物功能与化学作用	(55)
一、人体不能缺少的主要组成(结构)生命元素	(55)
二、必需微量生命元素	(72)
三、非必需(或毒性)微量生命元素	(95)
第四章 生命元素作用的基本原理和规律	(110)
一、丰度规律——环境和生命体系中化学元素丰度范围	(111)
二、食物链规律——生命元素地球化学食物链	(112)
三、阈值规律——生命存在的临界化学条件	(114)
四、代换规律——生物体中相似原子结构的取代作用	(121)
五、匹配规律——生命金属的配位特性	(125)
六、拮抗规律——生物体内元素间的相互作用原理	(129)
七、效率规律——效率和专一性的进化改良	(133)
八、螯合规律——生物配位体对金属离子的螯合作用	(139)
九、衰减规律——元素的生物学半衰期	(150)
十、价态规律——元素在生物体中的化学形态及其毒性和 营养	(154)

第五章 心血管病和地方病的环境原因	(160)
一、心血管病的环境病因.....	(160)
二、地方病的生物地球化学环境病因.....	(164)
第六章 环境、生命元素与癌症	(187)
一、恶性肿瘤的地理分布.....	(187)
二、癌症的病因.....	(191)
三、癌变机理.....	(194)
四、金属的致癌性.....	(200)
五、控制金属对环境的污染与预防癌症.....	(203)
第七章 生命金属元素的污染和致病途径	(221)
一、金属粉尘的污染途径和致病机理.....	(221)
二、金属矿物的开发利用和环境污染.....	(231)
三、环境中有害金属的来源.....	(233)
四、生命金属元素的污染途径.....	(239)
五、金属元素进入体内的形态及其影响.....	(241)
六、防止金属的毒害.....	(245)
第八章 生命元素与饮食平衡和延缓衰老	(247)
一、饮食中生命元素的平衡性.....	(247)
二、调整食物中微量生命元素的配比.....	(251)
三、生命元素与医药革命.....	(255)
四、微量元素饲料和金属奶粉.....	(261)
五、生命元素与延缓衰老.....	(264)
参考文献.....	(267)

绪 论

一、生命与生命元素

(一) 化学元素与生命元素

周期表上的107种元素，在自然界已发现有90多种。至70年代初期，已查明其中有30多种元素为人体或生物体的组成成份。至今，发现在生命体中有60~70种元素，其中绝大部分为金属。

经典的生物化学主要是研究生命体中有机元素和有机化合物的组成、结构、反应机理和代谢的规律。生命元素也可以按有机化学元素和无机化学元素分类。就有机化学元素而言，与生物和人体的生命活动有关的元素包括两大类：一是绝对有机发生化学元素，即原始生物或人类出现时就是必需的化学元素，故为一切生物所共需；二是专门有机发生化学元素，即为后生生命活动所必需的化学元素，只是在生物进化或生命活动到一定阶段之后才为某些种类的生物所必需。

通常认为对生命必需的有机化学元素(C、H、O、N、P、S)和与生命有关的无机化学元素(K、Na、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Mn、V、Cr、F、I、Mo、Co、Se、Sn等)原属两个学科范畴，由于科学研究的深入与发展，发现它们之间的关系紧密，无机化学与生物化学相互渗透，并形成了生物无机化学或无机生物化学。生物无机化学也可称为生命无机化学，这种称法主要基于

它是研究生命体系和生命现象，以及各种与生命物质有关的化学元素与其化合物相互作用的科学。广义而言，生物无机化学是研究无机化学、配位化学与生命体系和生命现象中生命元素的组成、分布及其变化和运动规律的科学。所以说，生物无机化学是研究环境生命元素与健康的钥匙。

从广义而言，生命元素是指生物体内各种化学元素，或指与生命活动有关（起生理作用）的元素；从狭义上说，它是指生命必需或对生命有益的化学元素。概括地讲它的定义和性质，我们认为，生命元素是指构成人体或生物体生命活动的基本单元。就本质而言，生命元素是指与人体或生物体生命活动密切相关（起有益或有害作用）的化学元素或其化合物，又是生命与周围环境发生能量交换、物质代谢或自我更新的基本成份。它是病毒、细菌和微生物的基本构成组份，也是高等植物、动物、乃至人类的基本构成组份。

如果以长度来作比喻，若以人体为1，则生命元素的复合体，如 $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{S})\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOCu}$ 的链长，只是人体的十亿分之一。但是，就是这样微细的生命元素与生命活动（生长、发育、遗传、变异以及健康、疾病、衰老、死亡等）有着十分密切的关系，并起着极为重要的作用。生命和环境之间存在着平衡和交换，也可以说，人体内的化学元素与环境中的地球化学元素之间，彼此维持着一定程度上的化学平衡和物质交换，其相互依存的基础就是生命元素。

所谓微量生命元素，一般具有以下重要特点：第一，它们极易与其他元素结合或键合，又是相当活泼的化学元素；第二，是构成人类生命体结构中的某些组成的重要成员；第三，它们能溶于水，能与氧反应，多与有机物质键合；第四，在人体中含量 $<1\%$ 。

（二）生命的存在离不开生命元素

虽然生命并不神秘，但其奥妙仍未完全查明。自古以来，对

生命的认识众说纷云。佛望 (Verwarn) 认为：“生命象是火焰”，斯宾塞 (Spencer) 把生命看作是体外的一种相继调节的作用；而拉维兹 (Rawitz) 提出，生命是特种的分子运动；也有人认为生命是生物体所表现的各种现象的总和，生命虽然多彩多姿，千变万化，但又很单纯。各种生命孕育在细胞中，而细胞只是表现生命特征的极小单位，但不是最小单位。

生命究竟是什么？恩格斯曾指出过：“生命是蛋白体的存在方式。这个存在方式的基本因素在于和它的周围的外部自然界不断地新陈代谢。而且这种新陈代谢一停止，生命就随之停止。结果便是蛋白质的分解”^{〔1〕}，“这种存在方式本质上就在于蛋白体的化学组成部分的不断的自我更新”^{〔2〕}，并认为“蛋白体从自己周围摄取其他的适当物质，把它们同化，而体内其他比较老的部分则被分解。而且被排泄掉^{〔3〕}”。按恩格斯的观点，生命是物质的一种特殊形式，它既区别于物质的简单位移，又区别于一般化学变化的运动形式。

多年来，人们对地球自然带的地球化学特征和栖居在这些地带生物所进行的研究很重视。发现躯体和头的大小与周围环境，包括土壤中微量化学元素的浓度有直接关系，而且有些元素含量的高低对发育过程起抑制作用。因此，生物地球化学因素参与了人的形态的形成，影响着人体结构要素的发育和它们之间的比例。

研究各种动物血红素 α -链和 β -链的氨基酸序列时，发现它们彼此有相似性，但也有差异，表示在演化过程中，一定发生过突变。对细胞色素的氨基酸序列的揭示，更进一步说明了演化的真实性。例如，人类和黑猩猩的细胞色素都是由104个相同的氨基酸排列而成，其主体结构也无差异，但细胞色素C的立体结构虽然大多相同，在104个氨基酸中就有44个彼此相异。

生命的存在就是最好的演化证据，任何一个生命有一部亿万年的演化史。人类之所以有不同的种族，均系隔离的突变累积的

结果。从生命元素的观点出发，这与从环境（水、空气、饮食……）中进入人体的元素累积多少有关，还与这些元素在人体内的结构和形态有关。因种族间的不育性尚未形成，所以一旦交通发达，种族间的隔离消灭后，原有的差异就会逐渐消失。新种的发生过程较长。因此从人们短暂的生命不可能看到演化的轨迹。

人和生物体本身是地壳物质化学变化的产物。若没有化学变化，不进行地球化学演化循环，地球上就不会有生命，不会有生物，更不会有人类的产生。古时地球虽然冷却，但比现在暖得多。目前从陨石和星际的月球中发现碳氢的高分子化合物和有生命意义的有机物质，包括氨基酸等，可以推测当时有地质活动，使大量的CO、SO₂、S、H₂O、N、H、Cl等逸出，形成了原始的大气圈。可以认为当星际尘粒聚结成地球时，含有与地球上所有生命共同的物质。当时空气中含大量水分，并富含氨和各种碳氢结合的气体。在适当的化学先决条件下，这些气体与地面上的水、碳氢化合物和氨作用，形成C、O、H、N的化合物。通过漫长的时间，曲折复杂的过程，在各种物理能（如紫外线、宇宙辐射、放电、放射能等）的参与下，逐渐地通过化学途径，由N、H、O、C相互转化合成为氨基酸。这个过程可能在地球已成初雏前就已完成或大部分已完成。很多氨基酸互相迭合成蛋白质，蛋白质就是一切有机体的生命基础，起初是非细胞结构的有机体，它表现了生命的本质现象。

由于蛋白质不能在高温中保存，它是地球温度降低到相当程度才产生的。最初产生蛋白质的途径很简单，如图1-1所示。经长时期和外界环境接触，逐渐演变并互相结合，使生命现象更明显。

经过慢长的岁月，直到今天，才发现在广袤宇宙中的气体里和千姿万态的生命世界的机体中有电子、光子、中微子、轻子、介子，以及各种元素和同位素等。在数十亿年以前的地球上，生命能

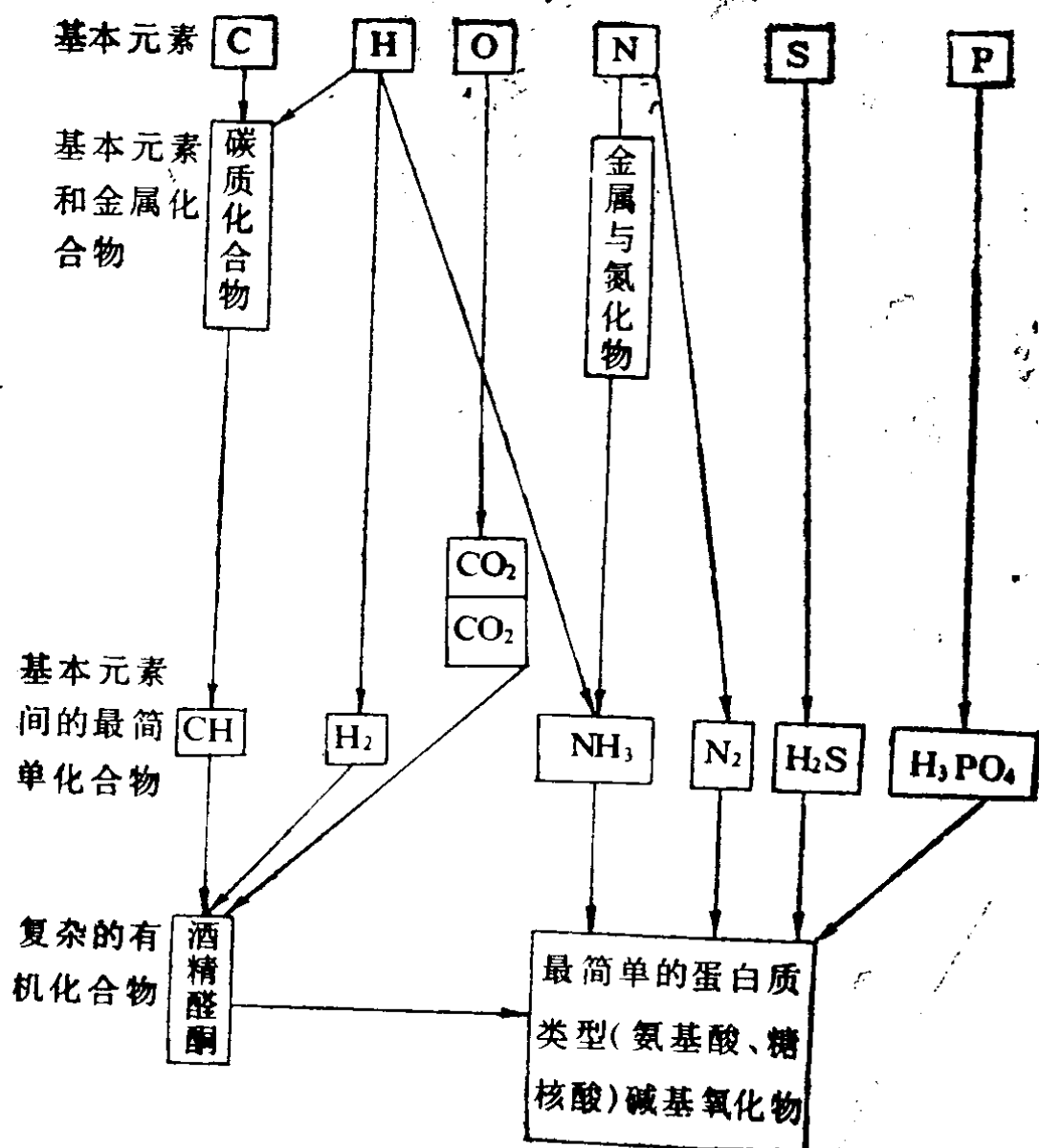


图1-1 初期蛋白质的形成途径

否自然发生呢？在当今的条件下生命是否能自然发生呢？这涉及到原始生命的形成条件了。在所有的元素中，没有再比这类生命元素更能兼容并蓄的了。它的特性，使它可以和各种元素化合，形成庞杂的化合物群。原始海洋（图1-2）中，甲烷分子可以和其

他甲烷物或与另种分子起化学反应，因而产生若干新的分子（如单糖、核苷酸、脂肪酸、氨基酸、嘌呤、嘧啶等）。这些反应都催化是在复杂的高分子和钙、钾、氯、硫、磷、镁以及铁、镍等金属剂参与下进行的〔4〕。

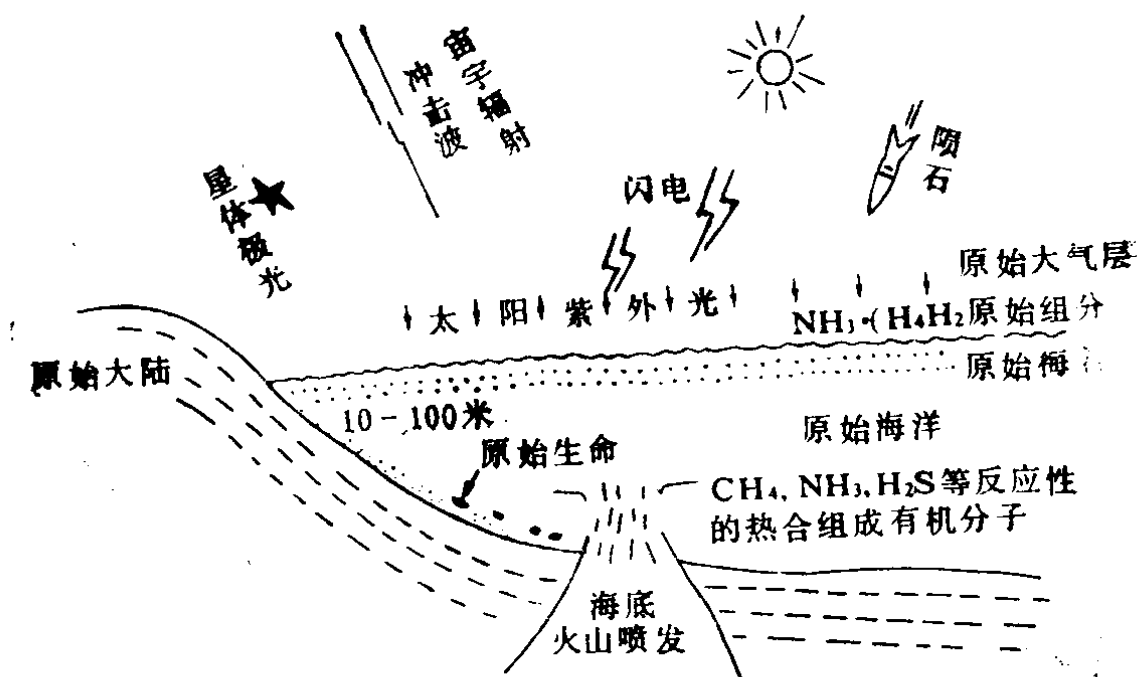


图1-2 原始海洋中生命起源的设想条件

早期的地球有充分的时间让生命自然发生。在原始的海洋中，自然合成的氨基酸及其他化合物逐渐积累，使得海洋变为富含有机物的“悬浮液”，有机分子在海水中互相碰撞，更增加了反应的机会。有机分子与金属经长时间的演化，体形逐渐增大，且变得更为复杂。核酸合成巨型长链的核酸，多肽链合成复杂的蛋白质。蛋白质形成后，分子间的反应速率就加快了。多糖类、脂肪、蛋白质、核酸等以各种形式互相结合，产生了更多的高分子化合物，其中最重要的莫过于核蛋白的形成。核蛋白可以摄取原料自行复制，因而具有生殖和营养的特征。当核酸具有蛋白质的外衣时，类似病毒的生物即行诞生。如某些传染病的病原（结

核介质，过滤性病毒）就是一种复杂的蛋白质，它们可以生长、繁殖，可算是最复杂的没有生命的物质，也是最简单的有生命的生物。在原始海洋，就有类似现今病毒的物质到处漂浮着。从现代实验可知，即使是最低等的细菌，如细菌中最原始的所谓梭菌，也能轻易制造维生素B₁₂。这些梭菌含有某些过渡金属离子（铁、铜、锌等），传染介质是细菌存在的一种方式。因此，有生命的个体，与无生命的物质，并无不可逾越的界线。

核酸的形成是演化上的一件大事，它可以复制，也可以合成蛋白质，成为原始海洋中最富“生命”的一种化合物。从最初不完善的核蛋白质，到能改变其结构现象后，就具备突变的特性。突变后，其优点可以保留，并能传给新复制的分子，因此生命的重要特征——遗传也就出现了。建造在这些原子和分子中的各种宇宙信息，就转变为遗传密码，以直线排列在这些原子和分子之中。

在广漠的宇宙中的其他天体或星际是否有生命呢？生命是有机物质与金属元素结合构成的，它起始于化学演化。形成生命物质基础的是氮、氢、氧和碳四大元素，它们不仅存在于地球，而且还广泛地存在于整个宇宙之中。经过漫长的岁月，由一些获得日、月、光照和四季气候变化信息的原子和分子，在各种辐射能、闪电、太阳紫外光及放射能的影响下，排列组合，构成新的原子和分子，形成各种复杂的化学结构，变为性质各不相同但又相互联系的功能单位，直到能获得使信息转变为遗传密码的功能单位——遗传因子。这种功能单位，能按照遗传密码的指示，复制出与四季气候变化保持联系的可靠结构和机能系统，而且一代一代传下去。由此可见，当化学演化进到生物演化时，生命便会从低级到高级，从简单到复杂，到一定时期就会形成有智慧的生命形态。因此，只要具备充分和必要的条件，低级生命和高级生命如“人”的出现就是必然的。

(三) 生命元素的选择性

在生命起源和生物进化过程中，为什么只选择某些金属元素作为生命有机体的结构单位，生物进化是根据什么原则来选择物质构成生命的有机体？如果仔细地把宇宙、地壳（及其大气）、海水和生命体的成份加以比较，不仅可以对这些问题有一轮廓的了解，而且对人类进化过程的化学选择原则，可以得到初步的答案。

物质循环和能量交换是一切生物生存的基本条件。它们之间始终保持着生态平衡，总是随着空间、时间等条件的改变而不断变化着的，人类的活动更加剧了这种变化。

从对地壳、海水、生命体中所含元素成份的比较中，可以看到些什么呢？如表1-1所示：海水、地球表层（气圈、水圈、地壳）和人体中的元素种类（按含量多少的顺序排列）基本相同，仅在顺位上稍有差异。从表1-1还可以看出，人体中占第七位的P，在海水和地球表层十分罕见；人体中占第三位的C，在海水中也较少，而在地球表层更为罕见；在地球表层中的Si、Ti在人体和海水中极为少见；在海水中含量很多的Br，在人体和地球表层中也都很少见。

表1-1 地壳、海水、生命体大量元素成份

顺位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人 体	H	O	C	N	Na	Ca	P	S	K	Cl	Mg
海 水	H	O	Na	Cl	Mg	S	K	Ca	C	N	
地球表层	O	Si	H	Al	Na	Ca	Fe	Mg	K	Ti	

据推测，地球诞生迄今大约46亿年，而地球诞生约7~10亿年后直到现在，海水的组成变化不大。由于生命起源和早期演化于海水之中，生命为了生存和适应环境，它必然会“就地取材”。海洋中元素的浓度和元素的物理化学特征，为生命摄取提供了客观可能的条件。海水中浓度高的元素就自然地成为生命的选择元素，称结构元素（如氢、碳、氧、氮、钙、磷、氯、钾、硫、钠、镁等11种元素）；而海水中浓度较低的元素就可能被生命选择作为各种酶的活化中心，从而构成生命必需的微量元素或非必需元素，在生命机体中起催化和信息传递等特异的生理功能。从生物的遗传特性来看，有生命的物质独特表征是它能自我复制和突变。但是，生命选择海水中元素时，会由于某些原因而有一定的生物学选择临界浓度。这个临界浓度取决于元素的理化性质及其在海水中的浓度。海水中元素浓度可用毫微克分子nM（ 10^{-9} 摩尔/升）表示。有人将海水中的元素划分为五种浓度范围见（表1-2）〔6〕。

对于微量生命元素来说，海水的浓度比地壳中的浓度有更重大的意义。以元素周期表第三、四周期中第VA-VIIIA族元素为例（见表1-3），其中V、Cr、Mn、Fe、Mo在淡水中的浓度都超过或等于 10^{-3} nM，是必需微量生命金属；而Nb、Tc、Ru在海水中浓度约 $<10^{-4}$ nM，为非必需微量生命金属。Mo在地壳表层中的含量低于Cr，但是Mo在生命体中的作用要比Cr大得多。这是由于Mo在海水中的浓度要比在生命中的浓度高。从表1-3中可以看出，尽管在地壳表层中Nb的含量高于Mo，但海水中Mo的浓度大于Nb，因而生命在演化和进化过程中选择了Mo。

从元素到人的化学选择是在自然环境中进行的。生命元素当然不会背离这个环境，如在原始海洋中由于积聚了钠、氯化物、镁、钙、钾、硫酸盐和磷酸盐，以及铁、钠、铜、锌、镍等金属元素，当浓度适当时，植物生命就开始了〔6,7〕。原始生物在生

表1-2 海水中元素的浓度区分^[6]

第I浓度范围 (一般宏量元素范围) $\geq 10^6 \text{ nM}$ <u>H</u> , <u>O</u> » <u>Cl</u> , <u>Na</u> » <u>Mg</u> » <u>S</u> , <u>N</u> , <u>K</u> , <u>Ca</u> » <u>C</u>
第II浓度范围 (特异生命元素范围) $10^6 - 10^3 \text{ nM}$ <u>Br</u> » <u>B</u> » <u>Si</u> , <u>Sr</u> , <u>F</u> » <u>Li</u> » <u>P</u> » <u>Rb</u> » <u>I</u> » <u>Ba</u>
第III浓度范围 (微量催化生命元素范围) 约 $10^2 - 1 \text{ nM}$ <u>Mo</u> , <u>Zn</u> , <u>Al</u> , <u>V</u> , <u>As</u> , <u>Fe</u> » <u>Ni</u> , <u>Ti</u> , <u>U</u> , <u>Cu</u> , <u>Cr</u> » <u>Mn</u> , <u>Cs</u> , <u>Se</u> , <u>Sb</u> » <u>Cd</u> , <u>Co</u> , <u>W</u>
第IV浓度范围 (生物学临界浓度范围) 约 1 nM <u>Co</u>
第V浓度范围 (生物无缘难于利用的元素范围) 约 $< 1 \text{ nM}$ <u>Ag</u> , <u>Pb</u> , <u>Hg</u> , <u>Bi</u> 等55种

说明:

nM 为海水浓度单位;即 10^{-9} 摩尔/升

—为生命必需元素

……为最近确定的生命必需元素

Ni和Cr为高等生物所必需的微量生命元素

Na为一般大量生命元素

长发育过程中,先具备摄取锌的功能,用于生长;后来逐渐利用铜,并依赖硼以进行复杂的功能,也许还有碘和溴;此后植物利用镁和铁来增加它们活体的效力。但是,由于错误地选择某个生命元素,也会把演化引向一死胡同。如大多数软体动物选择了铜来构成氧化还原体系,并使用它们在血液中运载氧,但铜的载氧能

表1-3 第三、四周期中第V—VIII族过渡金属在地壳和海水中的浓度

族	V A 第5族	VIA 第6族	VIIA 第7族	VIII A 第8族	
周期					
原子序数	23	24	25	26	27
第三周期	V	Cr	Mn	Fe	Co
地球表层含量(%)	0.013	0.01	0.09	4.72	2.5×10^{-8}
海水中浓度(nM)	$(4 \sim 5) \times 10$	4~6	4~7	$(4 \sim 6) \times 10$	0.8~7
原子序数	41	42	43	44	45
第四周期	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh
地球表层含量(%)	2×10^{-3}	1.5×10^{-4}		1×10^{-6}	5×10^{-7}
海水中浓度(nM)	$(1-2) \times 10^{-1}$	100	$>10^{-8}$	7×10^{-3}	-

力只有铁的一半。甲壳类动物也选择了铜，在软体动物、节肢动物和三叶虫的血液中都含有铜的蛋白质络合物，许多古生物都广泛地利用了铜。蠕虫选择了铁作为血液中氧的载体，使载氧效率提高了一倍，并使脊椎动物能够进化到动物的顶点——人。有一些软体动物（如蜗牛）选择了铁，就能离开水域而生活。软体动物中较新出现的一些种类，无疑是从它们的祖先那里学到了选择铁的经验。如文昌鱼就是选择了铁来构成它的载氧体系，因此是沿着正确的进化方向演变的。然而，它的姐妹之一的海鞘就不那么保守，它的好奇心和胆量都大些，它选择了钒来运载血氧。但钒并非是一种理想的元素，故并没有使海鞘演化成人，而最后只成了海鞘。