

第一章 生命化学基础

1.0 引言

至今我们所认识的地球是太阳系中唯一适合人类生存的环境。人和生物不断地从地球环境中，获得孕育、发育、生长和繁殖所需要的物质和能量。同时，人和生物又将代谢产生的废物排泄到环境中，经变化后又摄取，这样不断地进行着物质和能量的交换。现在人类机体内所含的化学元素、有机物，是长期地在自然环境下化学进化、遗传和变异的结果。各种化学元素在人和生物中与自然环境内的存在量，经常地处于一种动态的代谢、变换，而又相对平衡的状态之中。

人类是地球上化学物质发展的最高级产物。人们对元素与健康的认识，早在我国古代的“炼丹术”和古埃及的“炼金术”等的寻找长生不老药或魔剂，就有所认识了，特别是近代生理生化的许多进展，有了更明确的了解。在生命科学中，医学已经从民间药方的应用进展到可以命名为“生物化学和药物设计”的阶段。

1.1 人与化学进化

地壳、河水和海水的元素丰度

表1—1反映了人类孕育、发育、生长和繁殖的大自然化

表1—1 地壳、河水和海水中元素的丰度

元 素	地 壳		河 水	海 水
	g/kg	原子/ 10^4 Si 原 子	mg/L	mg/L
氢 (H)			1.119×10^5	1.078×10^5
氦 (He)				7.2×10^{-6}
锂 (Li)	0.02	3	0.003	0.18
铍 (Be)	0.028	3	$< 1 \times 10^{-4}$	6×10^{-7}
硼 (B)	0.01	1	0.01	4.5
碳 (C)			1.2	23
氮 (N)			0.25	0.5
氧 (O)	474	9600	8.8×10^5	8.56×10^5
氟 (F)	0.625	32.7	0.1	1.4
氖 (Ne)				0.00012
钠 (Na)	24	1040	9	1.105×10^4
镁 (Mg)	20	820	4.1	1.326×10^3
铝 (Al)	82	3020	0.4	0.005
硅 (Si)	282	10000	4	1
磷 (P)	1	32	0.02	0.07
硫 (S)	0.26	8.1	3.7	923
氯 (Cl)	0.13	3.6	8	1.987×10^4
氩 (Ar)				0.45
钾 (K)	24	610	2.3	416
钙 (Ca)	42	1040	1.5	4.22
钪 (Sc)	0.028	0.48	4×10^{-6}	1.5×10^{-6}
钛 (Ti)	5.7	120	0.003	0.001
钒 (V)	0.135	2.64	0.001	0.0015
铬 (Cr)	0.1	2	0.001	0.0006
锰 (Mn)	0.95	17	~ 0.005	0.002
铁 (Fe)	56	1000	0.67	0.003

元 素	地 壳		河 水	海 水
	g/kg	原子/ 10^4 Si 原 子	mg/L	mg/L
钴 (Co)	0.025	0.42	0.0002	8×10^{-5}
镍 (Ni)	0.075	1.3	0.0003	0.002
铜 (Cu)	0.055	0.86	0.005	0.003
锌 (Zn)	0.070	1.1	0.01	0.005
镓 (Ga)	0.015	0.21	1×10^{-4}	3×10^{-5}
锗 (Ge)	0.0015	0.021		6×10^{-5}
砷 (As)	0.0018	0.024	~0.001	0.0023
硒 (Se)	5×10^{-5}	6×10^{-4}	0.0002	0.00045
溴 (Br)	0.0025	0.031	~0.02	68
氩 (Kr)				0.00021
铷 (Rb)	0.09	1	0.001	0.12
锶 (Sr)	0.375	4.26	0.050	8.5
钇 (Y)	0.033	0.37	0.04	1.3×10^{-5}
锆 (Zr)	0.165	1.80	0.003	2.6×10^{-6}
铌 (Nb)	0.02	0.2		1×10^{-6}
钼 (Mo)	0.0015	0.016	0.001	0.01
锝 (Tc)				
钌 (Ru)	1×10^{-6}	1×10^{-5}		7×10^{-7}
铑 (Rh)	2×10^{-7}	2×10^{-6}		
钯 (Pd)	8×10^{-7}	8×10^{-6}		
银 (Ag)	7×10^{-5}	6×10^{-4}	0.0003	0.0001
镉 (Cd)	0.0002	0.0018		5×10^{-5}
铟 (In)	0.0001	9×10^{-4}		1×10^{-7}
锡 (Sn)	0.002	0.02	4×10^{-5}	1×10^{-5}
锑 (Sb)	0.0002	0.002	0.001	0.0002
碲 (Te)	4×10^{-6}	4×10^{-5}		
碘 (I)	0.0005	0.004	~0.005	0.06

元 素	地 壳		河 水	海 水
	g/kg	原子/ 10^4Si 原 子	mg/L	mg/L
氙 (Xe)				5×10^{-8}
铯 (Cs)	0.003	0.02	5×10^{-5}	0.0005
钡 (Ba)	0.425	3.08	0.01	0.03
镧 (La)	0.03	0.2	0.0002	3.4×10^{-6}
铈 (Ce)	0.06	0.4		1.2×10^{-6}
镨 (Pr)	0.0082	0.058		6×10^{-7}
钕 (Nd)	0.028	0.19		2.8×10^{-6}
钷 (Pm)				
钐 (Sm)	0.006	0.04		4.5×10^{-7}
铕 (Eu)	0.0012	0.08		1.3×10^{-7}
钆 (Gd)	0.0054	0.034		7×10^{-7}
铽 (Tb)	0.0009	0.006		1.4×10^{-7}
镝 (Dy)	0.003	0.02		9.1×10^{-7}
钬 (Ho)	0.0012	0.007		2×10^{-7}
铒 (Er)	0.0028	0.017		9×10^{-7}
铥 (Tm)	0.0005	0.003		2×10^{-7}
镱 (Yb)	0.003	0.02		8×10^{-7}
铪 (Hf)	0.003	0.02		
钽 (Ta)	0.002	0.01		2×10^{-5}
钨 (W)	0.0015	0.008	3×10^{-5}	0.00012
铼 (Re)	5×10^{-6}	3×10^{-5}		1×10^{-4}
锇 (Os)	1×10^{-8}	5×10^{-8}		
铱 (Ir)	1×10^{-8}	5×10^{-8}		
金 (Au)	4×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-6}	5×10^{-5}
汞 (Hg)	8×10^{-5}	4×10^{-4}	7×10^{-5}	5×10^{-5}
铊 (Tl)	0.00045	0.0022		1×10^{-6}
铅 (Pb)	0.0125	0.06	0.003	3×10^{-5}

元 素	地 壳		河 水	海 水
	g/kg	原子/ 10^{4si} 原子	mg/L	mg/L
铋 (Bi)	0.00014	7×10^{-4}		2×10^{-5}
钋 (Po)				2×10^{-14}
砹 (At)				
氡 (Rn)			2×10^{-10}	6×10^{-10}
钫 (Fr)				
镭 (Ra)	0.0096	0.041	4×10^{-10}	1×10^{-10}
锕 (Ac)				
钍 (Th)			0.0001	4×10^{-8}
镤 (Pa)				2×10^{-10}
铀 (U)			4×10^{-5}	0.0033

学环境，这也是其它生物滋生繁殖形态各异，构成大千世界的环境。从生态角度看来，确实互相依赖，共存共荣。

人类的化学进化，已得到公认。将在后面的章节给予论证。

人体和地壳内 60 余种元素含量吻合

自然界的一切物质都是由化学元素构成的。人为万物之灵是由化学进化而来的。

1971年，英国地球化学家汉密尔顿等利用现代分析技术测定了地壳中六十余种化学元素的平均含量，并将地壳和人体内元素平均含量分别画出曲线，发现两条曲线的变化几乎是吻合的（图1——1）。

这种吻合证明人类是由地球的化学环境中演化来的。

人从一个单细胞（受精卵）开始，到发育成为一个拥有 $10^{14} \sim 10^{16}$ 个细胞（关于人体内细胞总数，系推算出来的，不同的科学家推算的结果之间差别很大），具有各种器官组

1.2 原生质的基本元素

周期表中第二和第三周期的元素

除了某些金属离子外，生理化学在很大程度上与周期表中第二和第三周期元素的化学有关。

表 1—2 活细胞的元素组成

元 素	组成重量 (%)	元 素	组成重量 (%)
O	65		
C	18	Cu, Zn	0.55
H	10	Se, Mo, Ni	
N	3	F, Cr, I	
Ca	1.5	Mn, Co, Fe	
P	1.0		
K	0.35	Li, Sr, Au	微量 ⁺
S	0.25	Al, Si, Pb	
Na	0.15	V, As, Sn	
Cl	0.15	Br	
Mg	0.05		
总计	99.45		

+ 在细胞中出现和含量均不恒定，大多数情况尚不知其功能

为了探测新的或已知的生命形式而设计的装置，已在1976年着落到火星上。这些实验的主要假设是，地球以外的生命，部分地或全部地利用地球上生命所利用的相同元素。

地球上所有的细胞，不管是属于动物、植物或微生物的，均含有近于同一比例的相同元素（表1—2）。在109种已知元素中，已发现有20多种对地球上的生命是必需的。生命

对于这些元素的选择，是有其符合逻辑的化学解释的。

6种非金属元素（H、O、C、N、P和S）构成原生质的结构元素，这6种元素几乎占细胞总量的98%。细胞的功能成分（壁、膜、基因、酶等）基本上是由这6种元素形成的。它们都位于周期表中的前三个周期（表1—3）。

表1—3 原生质的结构元素

周 期	族							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar

这6种元素在海洋、地壳和大气中含量比较丰富，并且，这6种元素的内在化学性质表明，它们是特别合适的生命建筑材料。对结构元素来说，合乎要求的特点如下：（1）小的原子半径；（2）由形成1—、2—、3—和4—电子键的能力所赋予的多方适应性；（3）形成多价键的能力。

原子小可形成最紧密最稳定的键，这对结构元素来说显然是一大优点。H、O、N、和C是能分别形成1—、2—、3—、4—电子键的最小原子。所有各型电子键的利用，在分子造型方面容许最大的多方适应性。形成多价键的能力也是这样，这种性质几乎完全限于P、S和第二周期的元素。以C为基础的生命比以Si为基础的生命优点包括：（1）C—C键比Si—Si键有较大的化学稳定性；（2）C能形成多价键，Si则不能（如C的氧化物是可扩散的单体气体，而Si的氧化物是一种粘稠的多聚体）；（3）C—C键对亲核试剂电子丰

富的元素或化合物)如氧(O_2)、水(H_2O)或氨(NH_3)的断裂作用稳定,而Si—Si键不稳定。

类似的因素使P和S特别适用于能量转换反应。对亲核作用敏感的键有助于能量转换(亲核作用指电子丰富的中心作用于电子缺乏的中心,例如葡萄糖的6—OH对三磷酸腺苷(ATP)末位P—P键的亲核作用,形成二磷酸腺苷(ADP)和葡萄糖—6—磷酸)。P和S类似于Si,因为P—P键或S—S键像Si—Si键一样,由于未占据的第三轨道的缘故,易被亲核作用断裂。但是与Si不同,P和S形成多价键(更能多方适应),这是其原子直径较小的原因。生物化学中的绝大多数能量转换反应可看作是亲核剂(N)作用在磷原子未占据的第三轨道引起的(图1—2):

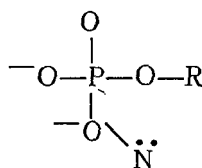


图1—2 能量转换反应示意

在整个已知的宇宙界,与生命有关的化学元素的特有的化学和物理性质是相同的。因此,如果在其它星球上有生命存在的话,很可能由于同样的或类似的原因而应用同样的元素。进而也很可能由这些元素形成的生物分子的种类及其可能进行的反应的种类与地球上是非常类似的。

1989年5月,美国发射了登陆金星的探测器,将会提供金星上的生命信息吗?这是全世界有关学科的科学都关注着的课题,也是各国人们感兴趣的问题:地球外有人类的知音吗?外星人、星外来客的传说有科学根据吗?

原生质内的基本元素

原生质由下列基本元素，以化合物型态组成。

氢和氧化合成水。碳氢氧则分别化合成碳水化合物和脂肪，是原生质内最主要的能源。氢、氧、碳、氮四者化合成蛋白质，是原生质的主要构成基础。同时亦为构成体重三大部分。

此外，至少有八种元素在人体内有相当份量。钙和磷使骨骼和牙齿坚硬；钠和氯是体液的主要成分；细胞内多钾；硫则构成一部分的蛋白；镁使脑、神经、肌肉功能正常；而铁则是红血球内血红蛋白的构成物；碘是甲状腺激素的构成物之一；铜和锰对红血球之组成亦甚重要；锌使胰岛分泌胰岛素；氟使牙齿坚硬无比；钴则是造血的重要因子，等等。

表1—4

原生质内基本元素	结合成之70Kg人体中之平均含量(公克)	化学结构物所组成
H— 氢	6,580	大部分之 C, H与O 化合成糖类 及脂肪为活 原生质之主 要能量来源 C, OH, 与N化合成 蛋白质所有 原生质构成 物质
O— 氧	43,550	
C— 碳	12,590	
N— 氮		
Ca— 钙	1,700	为血液及硬组织 (如骨齿)之重要成分
P— 磷	680	
Cl— 氯	115	体液之重要成分
Na— 钠	70	
K— 钾	70	所有细胞之重要成分
S— 硫	100	
Mg— 镁	42	
Fe— 铁	7	
		此八种元素占其余 体重之大部分

微量元素只占2kg体重。包括：锰（Mn），铜（Cu），碘（I），锌（Zn），钴（Co），钼（Mo），镍（Ni），铝（Al），铬（Cr），硅（Si），铷（Rb），锂（Li），砷（As），氟（F），溴（Br），钡（Ba），硒（Se），硼（B），金（Au），锶（Sr），钛（Ti）等。

上述无机物质在原生质内甚少呈游离态存在，大部分以化学结合形态存在，除水之外，主要之成分皆以碳化合物存在，即有机物。

1.3 正常人的化学组成

到1985年为止，自然界中已发现有天然和人工的化学元素109种，而在人体中，已经发现有六十余种元素。一般来讲主要有26种元素。人体组成物质中的元素含量超过0.005%者称为常量元素；含量不到0.005%者称为微量元素。

常量元素占体重的99.99%以上，固然对生命具有重要意义，但微量元素也是机体维持正常的生命活动所必需的，特别是现在已发现，一些微量元素与健康、长寿有密切的关系。

对人体的研究，是从地球化学角度出发，以元素分布为中心而进行的，并运用化学、生理学和生物化学等其它学科中所得到的知识来解释元素分布模型（见表1—5）：

表1—5 正常人的化学组成 (体重70kg)

元 素	重量 (%)	体内含量 (克)	元 素	重量 (%)	体内含量 (克)
O	61	43000	Ba	2.3×10^{-5}	0.016
C	23	16000	As	$<1.4 \times 10^{-4}$	<0.1
H	10	7000	Cd	$<4.3 \times 10^{-5}$	0.03
N	2.6	1800	Sb	$<1.3 \times 10^{-4}$	<0.09
Ca	1.4	1000	La	$<7 \times 10^{-5}$	<0.05
P	1.0	720	Nb	$<7 \times 10^{-5}$	<0.05
S	0.2	140	Ti	$<2.1 \times 10^{-5}$	<0.015
K	0.2	140	Ni	$<1.4 \times 10^{-5}$	<0.01
Na	0.14	100	B	$<1.4 \times 10^{-5}$	<0.01
Cl	0.12	95	Cr	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
Mg	0.027	19	Ru	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
Si	0.026	18	Tl	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
Fe	0.006	4.2	Mo	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
F	0.0037	2.6	Co	$<7 \times 10^{-6}$	<0.005
Zn	0.0033	23	Be	$<4.3 \times 10^{-6}$	<0.003
Rb	0.00046	0.32	Au	$<3 \times 10^{-6}$	<0.002
Br	0.00029	0.20	Ag	$<1.4 \times 10^{-6}$	<0.001
Sr	0.00046	0.32	Li	$<1.4 \times 10^{-6}$	<0.001
Cu	1.4×10^{-4}	0.1	Bi	$<1.3 \times 10^{-6}$	<0.001
Al	1.4×10^{-4}	0.1	V	$<1.4 \times 10^{-7}$	$<10^{-4}$
Pb	1.1×10^{-4}	0.08	U	3×10^{-8}	2×10^{-5}
Sn	4.3×10^{-5}	0.03	Ga	$<3 \times 10^{-9}$	$<2 \times 10^{-6}$
I	4.3×10^{-5}	0.03	Ra	1.4×10^{-13}	10^{-10}
Mn	3×10^{-5}	0.02	Cs	2×10^{-6}	0.0015

表 1—5 中的元素，有的是组成人体的基本元素，如 O（氧）、C（碳）、H（氢）、N（氮）、Ca（钙）、P（磷）、K（钾）、S（硫）、Na（钠）、Cl（氯）和 Mg（镁）11 种常量元素中，非金属占 7 种，占人体总重量的 97.4%；有的是体内重要物质的原料的微量元素，具有明显的生理功能，缺乏这些微量元素，会引起特殊的病症；有的是无生理功能的微量元素，由于广泛存在于空气、土壤和饮水中，经常被人们摄入；有的是具有毒性的微量元素，不是机体的正常组份，而是因环境污染进入人体的。

纵观整体，由元素组成蛋白质、糖、脂肪、水和无机盐而构成机体。这些物质在人体内的各组织的组成不一样，例如肌肉组织内含 75% 的水，20% 的蛋白质和 3% 的脂肪；骨骼约含 20% 的水，30% 的蛋白质，45% 的无机盐，脂肪很少。

由这些化合物构成人体的各种组织细胞与细胞间质，并且供给细胞活动所需的能量。

1.4 生命活动的营养物质

人们在生活中发现，如果只供给水、蛋白质、糖、脂肪和无机盐这五种物质，并不能维持正常的生命活动，在食物中还必需供给维生素。

维生素，虽不是构成人体的物质，但却是生理活动所必需的。水、蛋白质、脂肪、糖、无机盐和维生素，通常称为六大营养素，是生命活动的物质基础。

由于绝大多数维生素不能在体内合成，少数几种能在体内合成的维生素，其数量极微，不能充分满足机体的需要，

所以维生素必需由自然界的动物和植物的食物供给。人工合成维生素的原料也是来自自然界。

《黄帝内经》早已指出：“五谷为养，五果为助，五畜为益，五菜为充，气味而服之，以补精气。”全面地阐明了生命活动所需要的物质，都是来自于自然环境之中。

第二章 水—生命的源泉

2.0 引言

生命起源于水。生命的发育、生长、繁殖和演化都离不开水。水是人类的生活和生产活动中不可缺少的物质。水资源是每个国家的重要经济指标之一。各国的用水量标志着生活和生产水平。

2.1 地球上水的分布、存在量及循环平衡

地球上的水，以海洋、冰川、河流、湖泊以及地下水（包括各种矿物中的化合水、结晶水和结构水），还有深部岩石所封存的水份与凝聚态水，共同构成地球的水圈。其中海洋是水圈的主体，它的面积约占全球面积的71%，地球上的水有97%以上在海洋中。陆地上的水虽然相对少得多，但是，是人类生活和生产活动中极其重要的水资源。现有资料并没有计算到地球深部的水量。

关于地球总水量的数字，有许多不同的估计，表2—1就是其中的一种。1970年国际水文学会统一了大致的数据，认为地球上水的总体积接近15亿立方公里；并且把各部份水量在地球表面单位面积上的平均深度，规定为它们的当量深

度，用以表示水量的多少。据估计，海水当量深度约在2700—2800米之间，冰和雪约为50米，地下水大约15米（并不包括深部水），陆地水0.4—1米，大气中平均水汽含量的当量深度则为0.03米。

表2—1 地球的水量估计

位 置	水 量 km^3	总 占 水 量 %
淡 水 湖	125,000	0.009
河 流	1,250	0.0001
土壤水和渗流水	67,000	0.005
地 下 水	8,350,000	0.61
盐湖和内陆湖	104,000	0.008
冰盖和冰川	29,200,000	2.41
大气水分	13,000	0.001
海 洋	1370,000,000	97.3

由表 2—1 中可见，目前我们可利用的淡水量是极其有限的，因此，我们要科学用水和保护水资源。

在正常的气候情况下，地球中的水循环保持平衡。降水、蒸发和径流在整个水循环中，是三个最重要的环节。在全球的水量平衡中，它们同样是主要因素。四十年来，已有不少学者对全球水量平衡进行了大量的研究，表 2—2 是马瑟 (John.R.Mather) 根据长期资料计算的结果。

现代工业废气污染大气，破坏了大气的结构成份，也破坏了气候和造成了“温室效应”，因此，破坏了水循环，已引起人们的关切，正在探讨全球统一的对策

表2—2

全球年水量平衡

因 素	水 量 (km^3)
海洋降水量	382,000
海洋蒸发量	419,000
陆地降水量	106,000
陆地蒸发量	69,000
进入海洋的径流量	37,000
来自陆地蒸发的陆地降水量	12,000
来自海洋蒸发的陆地降水量	94,000
来自陆地蒸发的海洋降水量	57,000
来自海洋蒸发的海洋降水量	325,000

2.2 水的结构及其性质

H_2O 中的O (原子序数 = 8) 仅有 2 个未成对的电子因而仅能结合 2 个H原子。

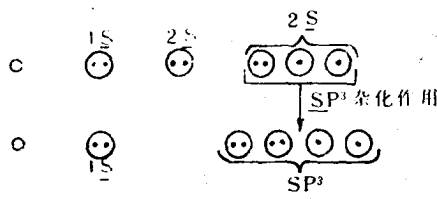


图2—1 水中的氧和氢结合的电子情况

水分子是不规则的四面体。
2 个氢占据四面体的 2 个顶角，
HO—H 键角 105 度。
水分子的两个单键是极性共

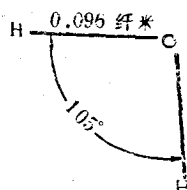


图2—2 水分子的氢氧氢键角度图示