

3

细胞化学

江琳才 徐晋佑 曾昭琼 编著

科学出版社

内 容 简 介

本书是从分子生物学的角度，简明地介绍有关细胞化学的基础知识和最新成就的一本中级读物。读者可以从生物分子的化学组成及其变化，进一步理解生命活动过程的本质，从而对分子生物学、细胞生物学、有机化学的研究方向有一个大致的了解。本书适合中等文化水平的有关科技人员阅读，也可作为本专业低年级大学生及教学人员的参考读物。

细 胞 化 学

江琳才 徐晋佑 曾昭琼 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年12月第一版 开本：787×1092 1/32

1980年12月第一次印刷 印张：9 7/8

印数：0001—6,900 字数：192,000

统一书号：13031·1434

本社书号：1978·13—10

定 价： 1.05 元

序 言

当前,分子生物学和细胞生物学正在成为生物学发展的主要方向,从分子水平上揭示出来的生命现象的种种事实,极大地丰富了细胞学、生物化学、有机化学等学科的内容。大量事实告诉我们:通过几十亿年进化发展起来的生物机体,形成了一整套多么理想而又完善的物质输送、能量转换、信息传递和化学反应的独特本领和技能。这些分子生物学的成就,又推动着化学的迅猛发展,模拟细胞化学反应的各项研究工作正在兴起。

生物膜在物质输送、浓缩分离方面的能力使人们惊叹,如果能模拟生物膜的这种功能,创造一种高效而又选择性强的分离膜,那将给人类带来多大的贡献!装备着这种分离膜的航船,可以不断从海水中提取宝贵的原子能燃料以及各种稀有元素;由这种分离膜构成的特种分离器安装在化工企业中,在混合物分离、废物回收、污染控制等方面将发挥多么巨大的作用。

在迄今知道的各种能源中,太阳能是潜力最大、前途最广、而又没有污染的理想能源。可是目前人类在利用太阳能方面办法还不多,效率也还低。在这方面植物给我们指出了光明的途径,植物以它巧妙的机制,在光合作用中,对光能的利用率达到 35%。如果能模拟成功,就有可能制造出高效率

的光电池。

生物细胞储藏和转换能量的本领也很值得人们效法，利用这些原理，有可能创造出新型的、直接从化学能转换为机械能的工作母机，以及高效的光源、电源等等。

细胞反应之所以奇特高效，关键在于有酶这个催化大师的参与，如果人们彻底认识了酶的结构和它催化作用的细节，那就有可能模拟合成出类似于酶的催化剂，从而使现行化工生产的面貌为之一新，到那时，笨重的加压和耐压设备多半可以甩掉，灼热的高温加热炉也可挪开，代之而起的是常温常压下，安祥、平稳而快速地进行着的化工生产过程。

在模拟细胞反应方面，最富于吸引力的一个课题是生物的光合作用，科学家们为此做了许多工作，若干种 CO_2 的络合物已经制成，光合作用催化机理的模拟也有进展，可以认为，建立工厂，用化工生产的办法来生产“粮食”、生产“面包”，已不是幻想。

生物固氮的模拟也很诱人，近年来许多国家都投入了相当大的力量开展这项研究工作，若干种在常温常压下具有活性的合成氨催化剂已经制成，虽然转化率还很低，但前景已经肯定，合成氨工业来个彻底改造的日子已经不远了。

遗传变异化学过程的揭露，使人们看到了分子变化和机体形态、机能的关系，为进行生物分类找到了结构上的根据，生物进化的现象开始从分子水平上得到阐明。

一门崭新的科学技术——遗传工程出现了，它实际上就是通过细胞反应的方法去实现“分子杂交”，它的出现彻底打

破了多少年来一直无法逾越的生物杂交的森严壁垒——亲缘界线,使人们可以在不同科属,甚至在微生物、植物和动物之间进行广泛的“分子杂交”研究。适应人类各种要求的无数具有优良性状的生物品种,将在人类的双手中创造出来。树上长“牛肉”也许将会变成现实。

细胞化学的发展有可能使人们找到癌症发生的化学机制,合成出治疗癌症的特效药。某些目前仍为不治之症的遗传病,也可能通过分子杂交的办法加以根治。人类和疾病斗争的手段将随着细胞化学的研究而日益得到加强。

细胞化学还在发展中,目前人类对细胞这种设计得如此巧妙的反应器的认识还很肤浅,对细胞反应的机制的了解还很零碎,对高尔基体、中心体等细胞器和细胞反应的关系更无所知,而模拟细胞反应的研究工作还处于发轫阶段,困难不少,问题很多。尽管人类和细胞打交道已有几百年的历史,但它仍然象一座覆盖着茂密森林的大山,等待着人们的开发。要彻底打开细胞之谜,充分发挥细胞化学的特长,为人类作出它应有的贡献,还需要人们付出更加辛勤的劳动。

为了适应这种形势,有必要向读者简明地介绍有关细胞化学的基础知识和最新成就,从分子的化学组成及其变化的角度,去理解生命活动过程的本质。本书的编写就是为此目的而作的一个初步尝试。

由于编者水平有限,书中肯定还存在许多缺点和错误,热切地盼望同志们给予批评指正。

江琳才 徐晋佑 曾昭琼 1978年8月

目 录

序言.....	iv
第一章 生命的化学起源.....	1
一 地球上最古老的生命遗迹	2
二 生命的起源是通过化学途径实现的	5
三 从宇宙空间来的致生物质	22
第二章 细胞——生命活动的基本单位.....	25
一 细胞的形状和大小	29
二 动物细胞的结构	32
三 细菌细胞和植物细胞的特点	43
第三章 细胞反应的物质输送.....	48
一 细胞膜	49
二 浓差扩散引起的物质输送	55
三 离子泵	68
四 载体——输送物质过膜的携带者	72
五 物质输送的三种机制比较	76
六 胞饮与吞噬	78
第四章 细胞反应中的能量转化.....	81
一 化学能	82
二 细胞的能量仓库	92
三 细胞化学反应的能量转化形式	98
第五章 细胞化学反应的催化剂——酶.....	117

一	反应的活化能和催化剂	117
二	酶的成分和催化特性	122
三	酶催化作用的机制	126
四	酶催化反应的速度方程式	130
五	酶催化的激活和抑制	134
第六章	生物氧化	141
一	糖的基础知识	141
二	糖的有氧氧化	152
三	糖酵解作用	164
四	脂肪的代谢	169
五	蛋白质的代谢以及它和脂肪代谢的联系	175
第七章	光合作用——细胞固碳反应	184
一	叶绿体和色素	185
二	光化学反应阶段	189
三	热化学反应阶段	195
四	淀粉和蔗糖的合成	200
五	光呼吸	200
六	光合作用的意义	205
第八章	细胞的固氮反应	208
一	固氮生物	209
二	氮分子的结构	211
三	生物固氮的基本条件	220
四	固氮反应过程	226
第九章	遗传变异过程的细胞反应	234
一	核酸	235
二	遗传密码和蛋白质的合成	251
三	变异的化学过程	267
第十章	细胞病变及防治	277

一	细胞的病变因素	277
二	细胞机能的紊乱	282
三	形形色色的细胞变性	284
四	细胞坏死的变化	287
五	抗菌药物对细胞病变的消除	290
六	细胞活动的保卫者——免疫作用	300

第一章

生命的化学起源

大约在三十多亿年前，地球上发生了一次伟大的物质运动的转化——从化学运动向生命运动的转化。从此，地球的发展进入一个崭新的阶段，原始生命的形式出现了，并逐渐由少变多，由简单到复杂，由原始到高级，终于展现出一个生机勃勃的生物世界。今天，在地球上，从海洋到陆地，从平原到高山，从湖泊草原到沙漠荒滩，从浅层地表到低层大气，到处都有生命活动的踪迹。万山葱郁，鲜花遍地，鹰击长空，鱼翔浅底，万类霜天竞自由。这景象和那依旧荒漠死寂的月亮、火星、金星等星球比较起来，地球的确堪称为生命兴旺繁荣，风景这边独好。

这众多的生命运动的现象是哪里来的呢？是上帝创造的吗？不是，是天上掉下来的吗？不是。是原始地球所固有的吗？也不是。生命只能是地球上物质运动长期辩证发展的必然结果，是在物质的机械运动、物理运动、化学运动发展起来以后，通过化学的途径实现的。“化学则在有机化合物的研究中才找到关于最重要物体的真正性质的真实说明，并且另一方面合成只在有机界中出现的物体。在这里化学进入到有机

生命的领域，而且它已经足以使我们确信：它独自就可以给我们说明向有机体的辩证转化。”^①

一 地球上最古老的生命遗迹

地球已经有四十六亿年以上的年龄，当它刚从太阳星云中分化出来以后的相当长的一段时间里，是没有任何生命现象的。但原始地球已为生命的化学起源准备了必要的条件，原始大气中有 H_2 , NH_3 , CO_2 , H_2O , CH_4 等，原始海洋中有多种无机离子，有磷酸盐、硫酸盐，原始地壳中有金属碳化物，生命所必需的元素碳、氢、氧、氮和钠、钾、钙、镁、磷、硫、氯，以及其他微量元素，都在原始大气或者地壳、海洋中具备了。充足的太阳光，尤其是能量较高的紫外光，以及大气中频繁的放电作用等，又为生命起源的化学过程提供了足够的能源。这样，通过自然界物质本身的长期的演化发展，地球终于成为一个天然的生命摇篮。

地球上最原始的生命现象是在寒武纪以前的时代开始的，由于这些地层的形成时代距今已在几十亿年之前，后来经过多次强烈的地壳运动，受到破坏，结晶变质，因此即使当初其中曾含有生命现象的遗体或遗迹，也早已面目全非，极难找到可资鉴定的化石。目前已经肯定属于地球上最古老的生命遗迹还不多，主要有表 1-1 中所列的几处。其中最古老的是

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第227页。

表 1-1 已发现的地球上最古老的生命遗迹

地 点	距今年代	岩 层	已检出的生命化石	有 机 物
我国北京市昌平县南口	$7-8 \times 10^8$	石灰岩	钙藻化石	
我国河北省蓟县铁岭	10^9	石灰岩	钙藻化石	
美国北部密西根	10^9	红色剪夏罗页岩		卟啉、姥鲛烷、植烷等①
津巴布韦	2.7×10^9	布拉瓦约灰石	藻类化石	碳水化合物、脂肪酸
南非德兰士瓦	3.1×10^9	无花果树浅燧石	细菌和藻类化石	碳水化合物、姥鲛烷、植烷等
南非德兰士瓦	3.4×10^9	斯威士兰系的古老堆积岩	单细胞和双细胞化石	

① 植烷是叶绿素侧链还原的产物,也可能是其他生物大分子分解的产物. 有植烷等有机物的存在,说明该岩层中可能存在过能进行光合作用的原始生物.

南非德兰士瓦东部斯威士兰的岩层中找到的细菌化石(图 1-1),它们可能是球形或棒形的原始生物化石,其年代已有三十一亿年之久!据报道,1977 年美国埃索·巴洪,安德鲁·诺奇在上述地方找到了三十四亿年前的沉积岩,把它切成薄片,在显微镜下观察,发现了二百多个单细胞和双细胞化石,据说这是地球上最早的活细胞。

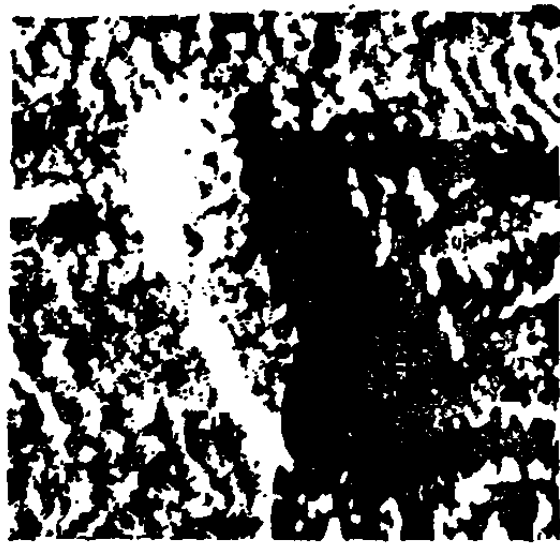


图 1-1 距今三十一亿年前的细菌化石
(约 0.5 微米长)

由此看来,原始生命现象的出现应该在距今三十六、七亿年之前,在此之前的大约十亿年期间便是化学进化的阶段了。

我国地质工作者在河北省、北京市、长江三峡等地区,曾发现距今六至十亿年前的石灰岩,并从其中找到钙藻化石.他们还曾从震旦系的岩石中发现 9 种氨基酸,在前寒武纪砾岩中发现 11 种氨基酸.最近,在河北省迁西县大平寨地区发现了三十六亿年前的古老岩石.目前在这方面正继续开展研究工作。

二 生命的起源是通过化学途径实现的

恩格斯指出：“生命，从它的最低形式直到最高形式，都只是蛋白体的正常的存在方式。”^①生命是蛋白体的存在方式，它的本质就在于蛋白体的不断地自我更新和自我复制，只要有了蛋白体，它就会显示生命现象。

根据现代科学的认识，蛋白体是以核酸和蛋白质为主要成分所组成的物质体系，因此从本质上来说，生命起源的问题归根到底就是蛋白体，亦即主要是核酸和蛋白质的起源问题。科学实验已经证明：核酸和蛋白质都是结构已经基本阐明的生物大分子，它们是可以经过化学的途径从小分子物质合成出来的。

“生命的起源必然是通过化学途径实现的。”^②恩格斯这一光辉预言正在为现代科学所证实。

下面简要地谈谈生命的化学起源，即化学进化的过程。

（一）致生小分子物质的形成

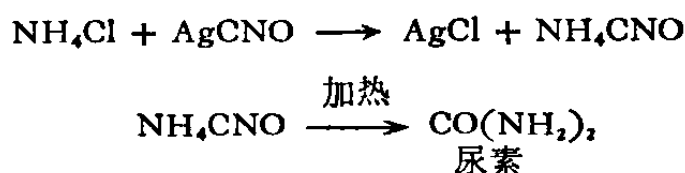
所谓致生小分子物质指的是那些和生物大分子的合成直接有关的小分子物质，例如 N_2 、 H_2 、 NH_3 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、 HCN 、 $HCHO$ 、尿素、戊糖、嘌呤碱、嘧啶碱等。也包括由这

① 恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970年版，第331页。

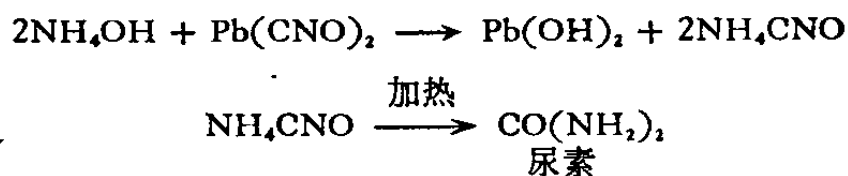
② 同上，第70页。

些物质进一步形成的直接用于生物大分子合成的单体，如氨基酸和核苷酸。

在这些致生物物质中，有的是无机物，有的是有机物，而后者是从前者发展出来的。这一点是德国化学家维勒在 1828 年所证明的。他当时用两种方法，从无机物合成出有机物——尿素。一种方法是用氯化铵溶液去分解氰酸银，结果通过下述反应制得尿素：



另一种方法是以氨水分解氰酸铅，反应过程是：



恩格斯对维勒的这一著名实验给予很高评价，一方面指出它把某些人认为是“无机界和有机界之间的永远不可逾越的鸿沟大部分填起来了。”^①另一方面认为这项工作预示着蛋白质的化学合成是可能的，他说：“维勒在 1828 年才从无机物制成第一种有机物——尿素，而现在已经用人工方法不用任何有机物制成了无数所谓有机化合物，那末我们就不会让化学在蛋白质这一难关面前停步不前。到现在为止，化学已经能够制造出它确切知道成分的任何有机物。只要把蛋白质

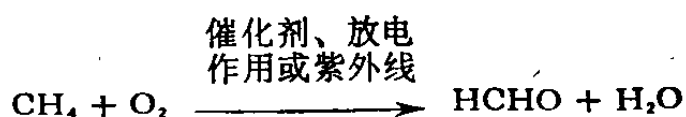
① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 14 页。

的化学成分弄清楚,化学就能着手制造活的蛋白质。”^①

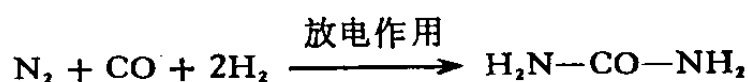
恩格斯这一分析,现在已为科学的事实证实了。

现代关于天体演化的研究中,一般认为:地球刚开始形成时,温度是很低的,后来由于吸引收缩作用,体积逐渐缩小,一部分引力势能转化为热能,加上内部放射性物质的放射能,使地球的温度升高,也许曾经高到几百度、乃至上千度,加上从太阳上来的强烈的辐射作用,使当时留在地球外面的大气分子的动能增加,以致其排斥作用超过地球对它们的吸引作用,便逐渐逃逸到宇宙空间中去了。

后来地球表面温度逐渐降低,但地球内部温度仍然很高,火山活动相当频繁剧烈,在火山活动时有许多气体喷发出来,其中就有 CO_2 , CO , N_2 , NH_3 , H_2O , CH_4 , H_2S , HCN 等。这是一种没有氧气的还原性大气。其中, CH_4 可能是通过金属碳化物和水作用产生的。在太阳强烈的紫外线,以及大气中的放电等作用下, CH_4 , H_2O 等有可能部分分解而产生出 H_2 和 O_2 , 氧气很快和岩石结合,或者和甲烷等进一步反应,产生甲醛:



尿素则可能是 N_2 , H_2 , CO 通过放电作用形成的。



这个反应已由格里帕在 1929 年所证实。有了上述这些小分子

^① 恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1971年版,第176—177页。

物质,即 H_2 , N_2 , NH_3 , CH_4 , CO_2 , H_2S , HCN , $HCHO$, 尿素等作为基础,就有可能进一步形成其他单体小分子物质。

在这些单体小分子物质中,首先要解答的是氨基酸的形成问题。

1953年美国一位年青的学者米勒首次进行了著名的模拟实验,他用甲烷、氨气和水蒸气、氢气等混合物进行火花放电,结果得到了多种氨基酸,其中甘氨酸、丙氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸存在于天然蛋白质中(表 1-2)。他所用的装置如图 1-2。图中 *A* 为火花放电室,*B* 为容量 5 升的烧瓶,加水

表 1-2 米勒实验中氨基酸、有机酸生成的情况

原料气: CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2O 产物浓度单位: 摩尔 $\times 10^5$

所得化合物	火花放电	无声放电
甘氨酸	63	80
丙氨酸	34	9
肌氨酸	5	86
β -丙氨酸	15	4
N-甲基丙氨酸	1	12.5
天门冬氨酸	0.4	0.2
谷氨酸	0.6	0.5
α -氨基丁酸	5	1
亚氨二醋酸	5.5	0.3
甲酸	233	149
乙酸	15.2	135
丙酸	12.6	19.0
乙醇酸	56	28
乳酸	31	4.3
琥珀酸	3.8	
尿素	2	
甲基尿素	1.5	

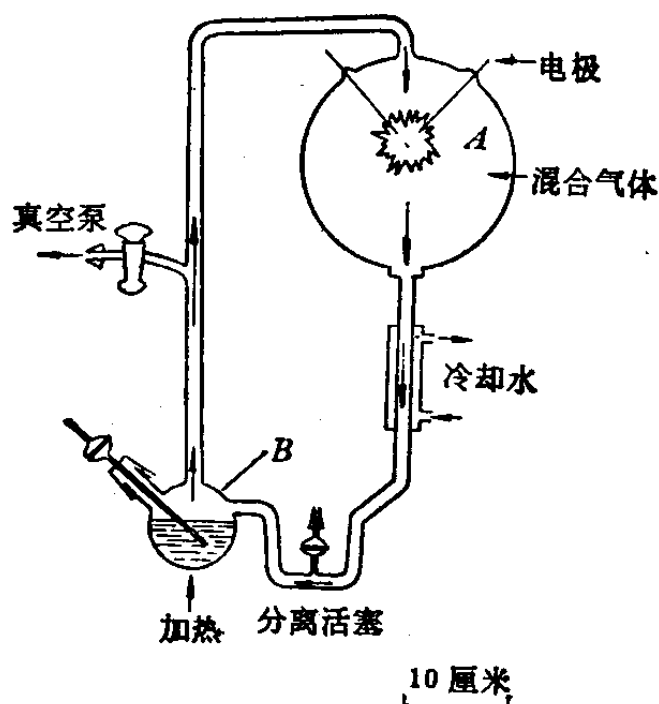
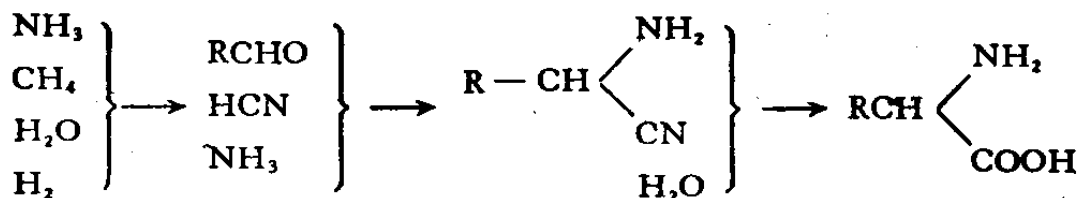


图 1-2 利用放电作用合成氨基酸的装置

200 毫升，用真空泵抽去其中的氧和氮，充入 CH_4 , NH_3 , H_2 的气体混合物，密封后，加热使水沸腾，连续火花放电一周，取出产物。这个过程可能发生了多种反应，其中氨基酸生成的反应可表示为：



后来米勒等人又进行了大量的反复试验，先后合成出天然蛋白质所含的几乎所有的氨基酸。

有一种模拟合成氨基酸的方法也很值得注意，那就是 1954 年巴杜所作的。他将甲醛和醋酸钙、铁盐的水溶液放在阳光下，80 小时后，成功地合成出精氨酸、组氨酸、脯氨酸、赖氨酸、丝氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸、天冬酰胺等。

1964 年，有人运用高温气相反应从 CH_4 , NH_3 , H_2O 的