

The top of the cover features several hand-drawn atomic symbols in a light green color, scattered across the background.

高等教育试用教材

生命的化学进化

王文清 主编

徐光宪 审

原子能出版社

高等教育试用教材

生命的化学进化

(初 版)

王文清 主编

戚生初 编

王德民

徐光宪 审

原子能出版社

京新登字077号

内 容 简 介

本书是研究生学位课程教学用书。书中全面、深入地介绍了化学进化与生命起源研究的最新发展和成果。内容包括：生命起源的理论，实验研究现状，光学活性的起源，原始地球形成，生物大、小分子的前生物合成，原始细胞的起源，遗传密码的起源以及量子化学在生命起源研究中的应用。

本书可作为高等院校化学系、生物系、物理系、哲学系、地质系等与生命科学有关专业的学生教学用书，也可供从事生命化学、生命起源及化学进化研究的科技人员参考。

☆ ☆ ☆

本书经核工业教材委员会放射化学及核化工教材委员会于1990年6月由韩国光主持召开的审稿会审定作为高等教育试用教材。

©

高等教育试用教材

生命的化学进化

(初 版)

王文清 主编

戚生初 王德民 编

徐光宪 审

责任编辑 李 涛

原子能出版社出版

(北京2106信箱)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 新华书店经售

开本850×1168 1/32 印张14.625·字数336千字

1994年9月北京第一版 1994年9月北京第一次印刷

印数1—1000

ISBN7-5022-0776-7

TQ·8(课) 定价:7.00元

前 言

本书是根据原核工业部教育司于1984年6月在北京召开的高等院校教材编审会议审定的提纲编写的教学用书。适用于高等院校化学系、生物系、哲学系、物理系、地质系等与生命科学有关专业的学生教学用书，也可供从事生命化学、生命起源及化学进化研究的科技人员参考。

生命起源是当代最大的科学难题之一。地球诞生于46亿年前，而36亿年前，地球上已有了最古老的原始海藻和细菌化石，即在地球诞生后不到十亿年的某时刻，人类的始祖、第一个能自我复制的细胞诞生了，它由碳、氢、氮、氧等元素组成。但是细胞怎样由这些无机物产生的呢？今天为解开生命起源之谜的实验研究已有了重大的进展，因此它唤起了人们探索、追逐与解决这一科学难题的兴趣。21世纪将是生命科学蓬勃发展的时代，现在生命科学的研究与开发已被列为发达国家科技领域首要任务之一。

本书以辩证唯物主义的自然观概述生命的化学进化与生命起源各个层次的课题，深入阐述了自然进化链中若干最重要的问题。本书引证大量实验事实，包括作者在国内所做关于生命起源的研究工作，并进行了严谨的科学分析。现将已得的可信结论、分歧的学术观点和有待解决的科学问题如实介绍给读者。

作者是在科学研究和六届研究生教学工作基础上编

著此书的。由于作者水平所限，错误和不足之处在所难免，敬请海内外同行指正。

本书由北京大学技术物理系王文清担任主编并编写第一、第二、第三、第四、第七章，戚生初编写第五、第六章，王德民编写第八章。研究生苏雅丽、赵健和徐世民分别为第二、第七、第八章收集了资料并作了文献总结。全书由中国科学院学部委员、北京大学教授徐光宪审校，原子能出版社副编审韩国光主持的审稿会审定全书。复旦大学王文基副教授、中科院生物物理研究所张志义副研究员，中央民族学院邓坤杰副教授，中国核工业总公司科技司严叔衡副司长，教培部贺兴章副处长对本书稿提出了修改意见，在此一并表示衷心的感谢。

王文清

1990年7月

目 录

前言

第一章 绪 论	1
第一节 研究生命起源的意义	1
一、生命起源的理论	1
1. 特殊创造论	1
2. 泛孢子理论	1
3. 自然发生论	2
4. 生源论	2
5. 化学进化学说	2
二、人类对生命的辩证认识	2
1. 恩格斯首次科学地定义生命	2
2. 人类对生命的新认识	3
3. 关于生命的定义	3
三、辩证自然观与化学进化	4
1. 物质世界进化链的层次结构	4
2. 化学进化的四个阶段	6
四、化学进化和化学退化	8
五、熵和生命	10
第二节 宇宙化学研究的进展	11
一、碳质球粒陨石的分析	12
1. 陨石中元素的同位素组成异常	13
2. 陨石中有机物的测定	14
3. 氨基酸分子的光学活性是否在太空中已产生	14
二、彗星中复杂分子的出现	
——地球上生命来自彗星吗	15

三、星际分子的发现	16
四、火星上有无生命的探索	19
参考文献	20
第二章 光学活性	22
第一节 生命与光学活性的关系	22
一、光学活性是生命有序性和组织化的基础	22
二、生物大分子手性是识别生命与非生命的探针	23
第二节 生命中的螺旋现象	23
一、非生命中的螺旋现象	24
二、螺旋与生物进化	24
三、螺旋现象对蛋白质均由 L 氨基酸构成的解释	25
四、蛋白质的 α 螺旋结构	26
第三节 光学活性的起源	26
一、光学活性起源的时间	27
二、光学活性分子的发现及性能	27
三、光学活性研究的意义	31
第四节 光学活性起源的假说	32
一、宇称不守恒导致光学活性	33
1. 不对称性在进化的各阶段中转变	33
2. Vester- Ulbricht 机理	33
3. Yamagata 机理	34
4. V-U 机理的实验	34
5. Y 机理的实验	39
6. 理论计算	46
二、圆偏振光引起光学活性	49
1. 基本思想	49
2. 实验事实	50
三、液固相化学反应导致光学活性	52
1. 泥土表面理论	52
2. 不对称晶体——石英	55

3. 立体选择结晶	57
四、统计起源论	57
五、活力论	58
六、地磁场论	59
七、光学活性研究的最新进展	59
参考文献	64
第三章 地球上生命的起源	68
第一节 太阳系中的生命	68
一、行星的分类	68
二、行星上生命的探测	69
三、星际介质	70
四、宇宙中生命存在的条件	72
第二节 原始地球的形成	72
一、地球物质的原始组成	72
二、地球温度	73
三、地球年龄	75
1. 钾-氩法	75
2. 铷-锶法	76
3. 铀-钍-铅法	76
第三节 原始大气	77
一、现代大气	77
二、原始大气	78
三、原始大气的成分	78
四、大气的演变	80
第四节 原始海洋	82
一、原始海水的演化	82
二、原始大气和海洋的相互作用	84
第五节 能量的来源	86
一、热能	86

二、太阳辐射	88
三、放电	90
四、放射性	90
五、宇宙射线	91
六、陨石的动能 ¹⁾	91
七、冲击波	92
第六节 生物元素	93
一、生物圈和生物元素	93
二、海水中的微量元素	95
三、微量元素的催化作用	95
四、生命发生的条件	96
第七节 地球上生命的起源	97
一、生命起源的时间	97
二、地球史的三个阶段	97
三、生命起源的假说	99
1. Oparin 学说	99
2. Fox 学说	104
3. 江上的海洋粒子模型	107
四、地球上生命起源的环境	107
五、生命起源物质组成的争论	108
第八节 生命起源研究现状	111
一、中心法则的修正——反转录	112
二、生命起源的新理论	112
三、核酸 RNA 最先发生	113
参考文献	115
第四章 生物有机小分子的前生物合成	117
第一节 氨基酸的前生物合成	118
一、气相反应产生氨基酸	118
1. 放电	118

2. 紫外光	127
3. 电离辐射	128
4. 热能	130
二、合成氨基酸机理的研究	132
1. Strecker 合成机理	132
2. 氰化氢合成机理	137
3. 醛类和聚甘氨酸结合	142
4. 烯烃和聚甘氨酸结合	142
5. 吡啶与脱氢丙氨酸衍生物的加合	143
三、氨基酸的稳定性	143
1. 脱羧作用	143
2. 水解作用	143
3. 环化后脱羧作用	144
4. 脱氨基作用	144
5. 热分解	145
6. 酸解	145
第二节 嘌呤、嘧啶的前生物合成	147
一、腺嘌呤	148
二、鸟嘌呤	156
三、嘧啶	158
第三节 糖的合成	160
第四节 核苷的合成	163
第五节 核苷酸的合成	167
第六节 卟啉的合成	172
参考文献	174
第五章 大分子生物有机化合物	178
第一节 蛋白质和核酸的结构与功能	178
一、蛋白质的结构及功能	178
1. 氢键	182
2. 硫-硫键	184
3. 氨基酸侧链 (R基)	184

4. 肽链间相互作用	186
二、核酸的结构及功能	187
1. 核酸的组分和结构	187
2. 核酸的功能	190
第二节 生物分子单体的脱水缩合	191
第三节 肽及类蛋白的非生物合成	194
一、聚甘氨酸理论	194
二、利用脱水缩合剂合成肽	202
1. 原始地球上可能存在的脱水缩合剂	202
2. 脱水缩合剂和肽键形成	203
三、氨基酸热聚缩合	215
1. 氨基酸热聚	215
2. 热聚氨基酸(或类蛋白质)的特性	220
四、其他合成途径	225
第四节 核酸和多糖的合成	226
一、核苷酸聚合物	226
1. 核苷酸单体热聚缩合	227
2. 利用脱水缩合剂在水溶液中合成聚核苷酸	228
3. 模板指导合成聚核苷酸	230
二、单糖聚合物	232
参考文献	233
第六章 原始细胞的起源	238
第一节 细胞的构造与功能	238
第二节 关于细胞起源的几种见解	241
第三节 细胞起源的团聚体模型	242
第四节 类蛋白微球体模型	247
一、类蛋白微球体的制备	248
二、类蛋白微球体的大小及控制因素	249
三、微球体结构的特性	250
四、微球体的化学行为	251

五、微球体的形态动态性质	253
第五节 其他的类蛋白微球体	256
第六节 生物进化中最早出现的 RNA “基因组”	257
第七节 非细胞体系核重构	262
第八节 最古老的原始生命	264
一、原始生命的代谢方式	265
二、原始生命的化石证据	267
参考文献	268
第七章 遗传密码的起源	271
第一节 遗传与基因	271
第二节 遗传信息的贮存和传递	272
一、遗传信息的贮存	272
二、遗传信息的复制	274
三、遗传信息的转录	274
四、遗传信息的翻译	275
第三节 遗传密码	277
一、密码单位	278
二、遗传密码的主要性质	279
三、密码子与反密码子的相互作用	285
四、密码子的使用	286
五、密码与变异	287
第四节 遗传密码起源的假说	290
一、偶然凝结理论	290
二、立体化学理论	291
三、原始地球条件下密码进化的假设	293
第五节 研究遗传密码起源的方法	294
一、生物化学方法	294
二、物理化学方法	297
三、构建模型和理论计算方法	303

第六节 遗传物质的前沿研究	314
一、遗传密码起源研究的新成就	314
二、遗传机制和光学活性的进化	317
三、遗传物质的化学前沿	317
参考文献	321
第八章 量子化学在生命起源研究中的应用	324
第一节 引言	324
第二节 量子化学基本原理	324
一、分子轨道理论	324
1. Slater 行列式波函数	324
2. 总电子能量表达式	325
3. Hartree-Fock 方程	327
二、Roothaan 方程	328
1. 原子轨道线性组合 (LCAO)	328
2. Roothaan 方程	329
3. 密度矩阵 $P_{\mu\nu}$ 的物理意义	329
三、基函数	331
1. Slater 型原子轨道	331
2. Gauss 型轨道	332
3. 用Gauss函数拟合 Slater 轨道	332
4. 收缩Gauss 函数	333
5. 双 ζ 基	333
6. N-31G 单、双 ζ 混合基组	333
7. 极化函数	333
四、一个具体实例——氨的自洽场从头计算	334
1. NH_3 分子的物理参数	334
2. 基函数	335
3. 重叠矩阵 $[S_{\mu\nu}]$	335
4. Hamilton矩阵 $[h_{\mu\nu}]$	336
5. 电子排斥积分 $(\mu\nu \lambda\sigma)$	336
6. 达到自洽标准后的密度矩阵 $[P_{\mu\nu}]$	339

7. 达到自洽标准后的Fock矩阵 $[F_{\mu\nu}]$	339
8. 本征值 (分子轨道能级) ϵ_i	340
9. 本征矢 (分子轨道系数) 矩阵 $[C_{\mu i}]$	340
10. 迭代过程中电子总能量的变化	341
11. 计算出来的一些物理量	341
五、CNDO近似方法	342
1. 对双电子积分的近似处理	342
2. 对 $h_{\mu\nu}$ 的近似处理	342
3. 对 $S_{\mu\nu}$ 的近似处理	343
4. CNDO 的参量化	344
六、EHMO 近似方法	345
七、各种近似方法综述	346
第三节 基本物理量和化学量的计算	348
一、平衡几何构型的键长和键角	348
二、分子偶极矩	351
三、分子内旋转势垒	351
四、分子的原子化热 (结合能)	352
五、势能面	354
六、氢键	355
七、力常数	356
第四节 化学进化中的共轭体系	356
一、热力学稳定性	357
二、抗辐射和抗光性	358
三、功能的优越性	360
第五节 氰化氢二聚体的量子化学研究	361
第六节 氨基酰基腺苷酸的构象分析	365
第七节 肽键形成模型	371
第八节 星际分子	377
第九节 遗传密码起源的量子化学研究	381
参考文献	388

第一章 绪 论

第一节 研究生命起源的意义

生命是自然界最大的奥秘，多少世纪以来，无数科学工作者为揭开生命之谜作出了不懈的努力。生命起源问题是一个多学科性的问题，充分讨论该问题，就需要涉及生物学、化学、地质学和天文学有关生命起源的材料。

研究生命起源有本质上完全不同的两种理论。第一类如特殊创造论、泛孢子理论、自然发生论、生源论、宇宙生命论等，它们都不能正确回答生命起源这个问题。第二类是在达尔文的进化论创立之后提出的化学进化学说。

一、生命起源的理论^[1,2]

1. 特殊创造论：是指在宇宙历史的某一特殊时刻，由上帝创造出生命，这种学说曾一度占统治地位，但不被科学家所接受。

2. 泛孢子理论：提出生命的胚芽来自地外空间，地球上的生命被假定为是与陨石或地外来访者一起到达地球，然后生长发育的。由于微生物附着于陨石活着到达地球显然不可能，它们将被紫外线杀死或因空间真空死亡。泛孢子理论最多能说明生命存在于一颗特殊的行星里，但仍未能解答宇宙中生命起源的问题。

鉴于星际空间中复杂有机分子的发现，泛孢子理论重又兴起，但这些分子能否在地球上播种形成更复杂的分子，至今未能确切回答。

3. 自然发生论：认为生物可从非生物自然发生。例如蛙可从泥中长出，蛆虫可从腐肉生出。一些著名学者如古代的亚里士多德，近代的 Harvey、牛顿，都曾经是自然发生论的信奉者。该理论由于实验观察错误，经不起科学批评。

4. 生源论：认为生命只能来自生命。1668 年意大利医生 F. Redi 用实验证明没有蝇和卵，不论把腐肉放多久，也不会产生蛆，后来发现了微生物。1862 年法国科学家。L. Pasteur 证明，煮熟肉汤不可能长出细菌。说明微生物不能自然发生，确立了生源论。该理论认为生命只能来自生命，从而否定了地球上生命的起源。

5. 化学进化学说：1871 年达尔文首先设想生命的起源，提出：“在一个存在着各种状态的氨和磷酸盐的温暖小池中，在光、热、电存在条件下，某种蛋白质化合物形成了，并进行更复杂的变化。”1924 年苏联生物化学家 A. I. Oparin 提出生命是长期化学进化的结果。1928 年英国生物化学家 Haldane 建立一个理论，“当紫外线作用于水、二氧化碳和氨的混合物时，形成多种有机物质，包括糖类，其中有些物质可以构成蛋白质。在原始海洋达到一个热的稀汤以前，它们早已聚集”。Haldane 把海洋描述为有机分子汤的见解，已纳入化学进化的术语。1947 年 Bernal 提出，在有机物丰富的原始海洋里，各种不同过程可把有机物结合起来。并且描述了使小分子集聚成产生生命大分子的方式和方法。上述这些学者的思想奠定了化学进化实验的基础。

二、人类对生命的辩证认识〔8〕

1. 恩格斯首次科学地定义生命

19 世纪下半叶，恩格斯对生命下了一个定义：“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周围的外部自然界的不断地新陈代谢，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。”恩格斯的生命定义在一定程度上揭

示了生命的物质基础，即具有新陈代谢功能的蛋白体。

由于受当时历史条件、科学水平的限制，恩格斯在一系列论述中，把蛋白体、蛋白质、原生质都当作同一含义。他强调了对生命的重要性，揭示了生命的基本特征，以及生命运动与非生命运动的本质区别，无疑是一个正确的、科学的定义，是与当时科学水平一致的。100年来，这个定义一直是指导人们认识生命的思想武器。

2. 人类对生命的新认识

20世纪以来，自然科学发展极为迅速，研究生命的有关学科相继进入分子水平。现代科学证明，生命必须的物质是原生质。原生质是细胞内所含的生命物质，包括细胞核和细胞质。核内所含的原生质叫核质，其中包含着染色体和核仁。在活的细胞中除去水分后，约有90%是蛋白质、核酸、糖、脂四类大分子，其中又以蛋白质和核酸最为重要。所以，可以说蛋白质和核酸是生命运动的主要物质基础。

蛋白质是原生质的特殊结构组分，是一类生物大分子，其结构单位是氨基酸，共20种。蛋白质由这些氨基酸构成。现代分子生物学研究表明，蛋白质对核酸代谢的催化，细胞膜的通透性，新陈代谢的调节控制，以及高等动物的记忆、识别机能等起重要的作用。

核酸也是一类生物大分子，其结构单位是核苷酸。核苷酸由碱基、戊糖、磷酸组成。核酸中的戊糖有D-核糖和D-2-脱氧核糖。根据核酸中所含戊糖不同，可将核酸分成核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)。在生命体中，核酸控制蛋白质的合成，决定蛋白质的性质；酶(蛋白质)的催化作用，又控制着核酸的代谢活动。蛋白质和核酸两者相互依赖、相互作用，使生命体成为一个统一体。

3. 关于生命的定义^[4]

生命是一个很难下定义的现象。目前尚无一致公认的定义，