

遗传与信息

在生物进化论的背后,存在两个带根本性的问题:一是生命的起源,即如何从无生命的物质变为有生命的物质,也可以说从无序到有序的问题;二是生物的遗传与变异,那就是从有序到有序的问题。对于第一个问题,目前科学家掌握的资料尚少,还没有得到明确的结论;而对于第二个问题,已经画出了一个基本的轮廓,这是20世纪自然科学的最重大成就之一。

早在1943年著名物理学家薛定谔在都柏林所作的题为“生命是什么?”这一产生深远影响的演讲中,首次提出了以非周期晶体作为遗传密码的大胆设想。次年阿弗利发现了细菌转化现象,第一次直接证实了人们寻觅已久的控制生物遗传的物质基因,不是别的,正是叫做脱氧核糖核酸(DNA),即细胞核内DNA是遗传的物质基础,遗传信息就蕴藏在DNA的分子结构里。

1953年,沃森和克里克确立了DNA分子的双螺旋结构,揭示了遗传信息及其复制规律(参阅图4)。这一发现构成了分子生物学的重大突破。DNA的基本结构单位是脱氧核苷酸。脱氧核苷酸含有碱基、磷酸和脱氧核糖,其中碱基有四种:腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T),DNA双螺旋结构主要由两条互作的多聚脱氧核苷酸链由氢键的作用配对在一起。碱基的配对是固定的:A-T相配,G-C相配(图4),DNA的碱基的序列就构成了遗传信息,它的不同排列就

反映了各种生物遗传性的千差万别。历史上的物种,最高估计为40亿种,其信息量不过为

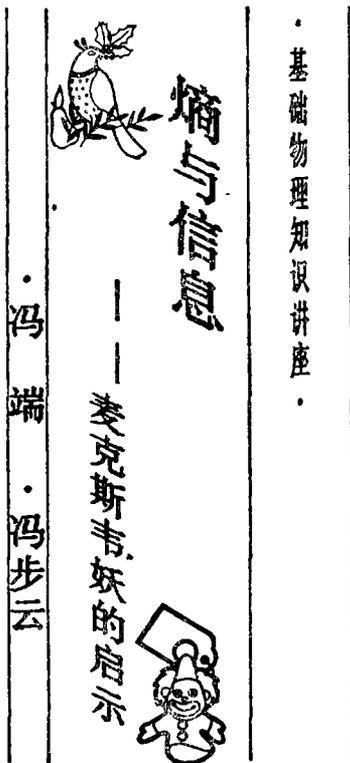
$$\log_2 4 \times 10^9 = 31.9(\text{比特}).$$

而DNA结构中存在着A、T、G、C四种碱基构成的序列。如果在四种中任选两种来排列,就有AT、AC、AG、TA、TC、TG、GA、GT、GC、CA、CT、CG、AA、TT、GG、CC共

大的信息量完全足以说明DNA结构有充分的多样性,用来说明物种的千差万别。图5给出了一种噬菌体的碱基序列,已经是洋洋大观了;而记录一个大肠杆菌的碱基序列,需用一本超过千页的大书;至于一个人体细胞的碱基序列,则约需百万页的篇幅,这相当于一个图书馆的容量,取得人的全套基因组图谱,科学意义十分重大,但工作之艰巨,亦令人望而生畏。在著名分子生物学家沃森倡导之下,一项国际合作研究计划将于1991年开始,投资高达数十亿美元,预期在15年内完成。这项计划的实现将对生命科学和人类生活产生至为深远的影响。

生物特征的遗传,在分子水平上就是通过DNA复制来实现的,就是DNA双链松开,每一条链再与一条新链按碱基配对关系连接,结果相当于原来的双链衍生为两条等同的双链。而碱基的顺序与原来的全同,实现了遗传信息的复制(图6)。这一过程说明了严格的有序在生物中是多么重要。而且复制信息的能量消耗是非常低的,据估计复制一个比特的信息,其消耗能量仅为100kT的量级,仅为当代最先进的微电子元件的百万分之一。

生物大多数的遗传性状都要通过各种蛋白质表现出来。蛋白质的种类很多却都是由20种氨基酸形成,只是排列结构不同。DNA的顺序方式包含着所有遗传信息,参与一系列的反应,在反应期间,这些信息被翻译成不同蛋白质序列的形成,换句话说,这些遗传信息决定着氨基酸的排列顺序进而决定着蛋白质的化学结构和生物学功能,即四种核苷酸排列的DNA双链与20种氨基酸排列的蛋白质大分子链对应。这就出现一个问题,正象点和划二种信号的莫斯电码,要与26个拉丁字母及空白间隔相对应,与众多的文字相对应一样,有一个编码和译码的问题。显然,一个碱基不足以决定一种氨基酸;两个碱基也



$4^2 = 16$ 种不同的排列;任选三种,则有 $4^3 = 64$ 种排列顺序。如果一条多核苷酸链上有100个碱基,那么则对应 4^{100} 种不同排列顺序,这个数目不仅远远超过历史上所有物种的总数目,而且也超过了太阳系

中原子的总数。现在已经知道一个基因是DNA分子链上的一个区段,其平均尺寸包含约1000个碱基,对应地可能有 4^{1000} 种不同的排列顺序,相当于2000比特的信息量,如此巨

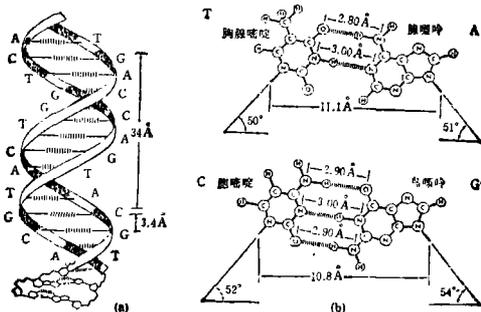


图4 DNA的双螺旋结构及配对的四种碱基

【物理学家名言录】(2)

自喻 · 范若辑 ·

1 春蚕——居里夫人 “那些蚕细心地工作着，不懈不怠，令我大受感动；我看着它们，觉得我跟它们是异物而同类……。”

2 卒子——于敏 “研究氢弹原理的，是一批科学工作者。参加设计、实验的人就更多了。要说攻关，是

的全部能量通过房间墙壁、门窗的缝隙散逸到室外空气中去了。

我从阴凉地下室取一瓶红葡萄酒，置于暖室回温，它所增加的能量并非取自室内空气，而是从室外传进来的。

与我们生火取暖一样，地球上的生命需要太阳辐射。但生命并非靠入射能维持，因为后者中除微不足道的一部分外都被辐射掉了，如同一个人尽管不断地汲取营养，却仍维持不变的体重。我们的生存条件是需要恒定的温度，为了维持这个温度，需要的不是补充能量，而是降低熵。

我当学生时，读过沃尔德(F. Wald)写的名为‘宇宙的女主人和她的影子’的小册子，获益匪浅。‘女主人’和‘影子’意思是指能量和熵。在知识不断增进的过程中，这两者对我来说，似乎交换了地位。在自然过程的庞大工厂里，熵原理起着经理的作用，因为它规定整个企业的经营方式和方法，而能原理仅仅充当簿记，平衡贷方和借方。”

1952年出版的索莫菲(A. Sommerfeld)的遗著《理论物理教程》第五卷“热力学与统计力学”中，有一节题为“能与熵地位高下之争”，在正文中未加评论地引用了埃姆顿以上的短评，而在例题中，进一步考虑了埃姆顿所忽略的内能的附加常数项，导出了内能密度并不守恒，而是随升温而略微减小的结果。索莫菲指明了“从而振振有辞地得出熵比能地位更高这一令人注目的结论。”

1961年久保亮五的“热力学与统计力学”一书再次引用了埃姆顿的全文。

在熵概念日益拓展，其内涵进一步深化的今天，联系到这里所谈的负熵(信息)，有理由相信，埃姆顿的结论已越来越为人们所理解、赞同，负熵的获得似比获取能量来得重要。薛定谔的名言，生命“赖负熵为生”也似乎越来越为人们所首肯。

从另外一个角度来看，能与熵地位高下之争已经超出了纯科学的范畴，而应取决于社会的实践。对于这一问题，答案并不是一成不变的，在人类历史的不同时期可能有不同的答案。以热机发展为主导的第一次工业革命，关键的问题为用机器将人从繁重的体力劳动中解放出来，能显然处于更为重要的地位，说这场工业革命是能的革命并不过分。而当今人类社会正好进入了以信息技术为主导的第二次工业革命，关键的问题在于充分发挥信息技术的功能，对各式各样的过程进行计算、控制和操纵，从而取代人的非创造性的脑力劳动，正如维纳所说：“17世纪和18世纪是钟表的时代，18世纪末叶和19世纪是蒸汽机的时代，现在是通讯和控制的年代。”还有以基因工程为代表的生物技术的革命也正在人类社会生活中扮演愈来愈重要的角色。这样熵(或更确切地说负熵)的重要性被突了出来，可以毫不夸张地说，当代的工业革命是一场熵(或负熵)的革命。那么，从社会实践角度看，说在

集体攻关，我只是其中的一个卒子。指挥走这盘棋的，是党中央和我们敬爱的周总理。不论战略上，还是战术上，都数不上我。”

3 蜡烛——迈克尔·法拉第 “像蜡烛为人照明那样，有一分热，发一分光，忠诚而踏实地为人类伟大事业贡献自己的力量。”

4 砖瓦——汉斯·蒂林格 “每一门科学都是用世世代代研究者无数努力的代价建立起来的大厦。每一个人的贡献，平均起来，只不过是建造了整整一层楼，或者拆掉这大厦的一部分而重新砌筑起来。

当今的世界中，熵比能更加重要，也就顺理成章，容易为大家所接受了。

(续完)

(本文系作者为科学出版社《物理学基础知识丛书》所写“熵”一书的第八章。抽出单独发表，对文字略有更动。)

· 物理学家小故事 ·

以身许国

清明

1961年初春，“已是悬崖百丈冰”，天气乍冷。苏联杜布纳联合核子研究所中国专家组组长王淦昌回到阔别已久的北京，开始准备建造加速器的工作。

这年4月1日，王淦昌忽然接到通知，说二机部部长刘杰找他“有要事相商”。一见面，刘部长开门见山地说：“今天请你来，是想请你做另外一件事，参与领导研制战略核武器原子弹”；王淦昌沉思半晌，迸发出一句穿云裂石的话语：“我愿以身许国”第二天，王淦昌告别实验核物理的理论研究，走进核武器研究设计院，从此隐姓埋名17年，投身到中国两弹研制的创业之中。