

KIE XIUE GONG SHU

中国科学院新世纪(科学丛书) 主编 何远光



DNA结构的发现

岳奎元 著

★ ★ ★ ★
走进迷宫
科学的选材
巧妙的实验
新技术帮忙



1

— 内蒙古大学出版社 —

责任编辑: 呼和
封面设计: 徐敬东

图书在版编目(CIP)数据

DNA结构的发现 / 岳奎元著. — 呼和浩特:

内蒙古大学出版社, 2000.5

(新世纪〈科学丛书〉 / 何远光主编)

ISBN 7-81074-022-9

I. D… II. 岳… III. 脱氧核糖核酸 - 普及读物

IV. Q523-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第25075号

顾问

王大珩 院士

王佛松 院士

张广学 院士

王绶璠 院士

郭慕孙 院士

严陆光 院士

编委

关定华 研究员

胡亚东 研究员

陈树昔 教授

周家斌 研究员

刘金 高级工程师

何远光 高级工程师

史耀远 研究员

DNA结构的发现

岳奎元 著

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古瑞德教育印务股份
有限公司呼和浩特市印刷

内蒙古新华书店经销

开本: 850 × 1168/32 印张: 0.5 字数: 12千

2000年5月第1版第1次印刷

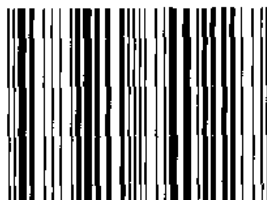
印数: 1-11000册

ISBN 7-81074-022-9 · I

本书编号: 1-29

全价50册 定价: 50.00元(分册1元)

ISBN 7-81074-022-9



9 787810 740227 >



目 录

岳奎元,1939年2月出生,四川南江人,中共党员,1965年毕业于四川大学生物系。现任中国科学院成都分院正处级调研员,高级工程师。中国科普作家协会、四川省及成都市科普作家协会会员及理事,四川省科技政策与管理研究会理事等。

先后从事植物化学成分研究、生物电镜技术、细胞超微结构研究;科技管理及科技政策研究。发表学术论文30余篇,科普文章200多篇,曾多次获奖,并被四川省评为有突出贡献的科普作者。

崇尚科学(序)	(1)
走进迷宫	(2)
真理就在前面	(3)
科学的选材	(4)
巧妙的实验	(4)
科学的假设	(5)
新技术帮忙	(6)
最佳的组合	(8)
柳暗花明	(9)
露出庐山真面目	(12)

崇尚科学

——寄语青少年

江总书记在党的十五大报告中号召我们“努力提高科技水平,普及科技知识,引导人们树立科学精神,掌握科学方法”。面向 21 世纪,我们要实现科教兴国的战略目标,就是要大力普及科技知识,提高国人的科学文化素质。特别是对广大的青少年,他们正处于宇宙观、世界观、人生观、价值观的形成时期,对他们进行学科学、爱科学、尊重科学的教育,进而树立一种科学的思想 and 科学精神,学习科学方法对他们的一生将产生重大的影响,同时也是教育和科学工作者的重要任务之一。

由中国科学院和内蒙古大学出版社共同编纂出版的“科学丛书”就是基于上述思想而开发的一项旨在提高青少年科学文化素质,促进素质教育的科普工程。该“丛书”具有以下三大特色。

买得起:丛书每辑 50 册,每册一元。

读得懂:每册以小专题的形式,用浅显的表达方式,通俗易懂的语言,讲述各种创造发明成果的历程,剖析自然现象,揭示自然科学的奥秘,探索科技发展的未来。

读得完:每册字数万余字,配以相应的插图,一般不难读完。

我们的目的就是要通过科普知识的宣传,使广大青少年在获得科技知识、拓展知识面、提高综合素质的同时,能够逐步树立起科学的思想 and 科学的精神,掌握科学方法,成为迎接新世纪的优秀人才。

最后,真诚地祝愿你们——

读科学丛书,创优秀成绩,树科学精神,做创新人才。

中国科学院 卢佩群

地 球上千姿百态的生命世界有许多难解之谜，吸引着历史上无数前贤志士为之奋斗。他们在揭开生命之谜的历史画卷上留下了浓墨重彩，在人类进步的征途上，演奏出了辉煌壮丽的乐章。在这历史长卷上，最重的旋律是遗传之谜，在辉煌乐章中最响亮的一章是DNA结构的发现。

下面，我们从走进迷宫这个序曲开始。

走进迷宫

生物学最简单的定义就是研究生命的科学。人类为探索生命的真谛走过了漫长的历程。20世纪30年代以后，生命科学得以迅速发展，其根本原因是得益于遗传的物质基础DNA双螺旋结构的发现，从而开创了分子生物学及基因工程这一新兴领域，其中基因工程即将成为21世纪的重要学科及技术。

生命的无数奥秘中，最令人困惑不解的就是生命的自我复制能力及其过程。即科学家们称之为“子代与亲代之间的相似”，“种豆得豆、种瓜得瓜”这种遗传的能力及其过程。生命的遗传经几亿年长期继承，既变化多端，错综复杂，又有序进行。堪称自然科学的谜中之谜。

生命之谜何等丰富多彩！牛吃进草料，经过一系列转化，变成营养丰富的牛肉和牛奶；候鸟南来北往，年年如此，代代相传；植物的种子总可以找到它适宜生长的土壤，等等。

人的本领就更加强大了，除无穷的思维创造能力外，就其各种器官的奇妙功能也使人惊叹不已。称为心灵之窗的眼睛，有非凡的观察能力，感知五彩缤纷的外部世界；人的心脏有节奏地跳动，生命不息，跳动不已。如果你活到80岁，那么你的心脏就会一刻不停地跳动30亿次。肺脏吸入大量新鲜空气，将废气排除体外。每人一年大约要吃喝1吨左右的食物和饮料，经消化器官，将这些食物和饮料去粗取精，变成身体的细胞，为我们提供进行生命活动的必需能量……。

生物界生命活动的奇妙现象数不胜数，虫鱼鸟兽，草木花卉，为什么会是各具形态？生命为什么会代代相传？遗传的链条是怎样环环相

扣、繁衍生息的，前人提出了一系列假说、模型和猜测，作出了形形色色、多种多样的阐述。在遗传的文献宝库中有众多书卷、典籍、论文、报告，记载着科学家们艰辛的历程和丰富的成果。这些成就不断地叠加、积累、综合，终于有一天发生了巨大的质变，一项伟大的新成就诞生了——DNA 双螺旋结构的发现。

真理就在前面

1928 年，英国的医生格里菲斯在实验室里作了著名的肺炎双球菌感染实验之后，美国洛克菲勒研究所的细菌学家艾弗里（1877～1955 年）实际证实了脱氧核糖核酸，即现在广泛简称的 DNA 就是遗传信息的载体。这是生物学上的一个伟大发现。但遗憾的是他俩都未到达胜利的终点。

当事物发展到初见端倪时，人们往往会乘胜追击，寻根问底。科学的发展也不例外。

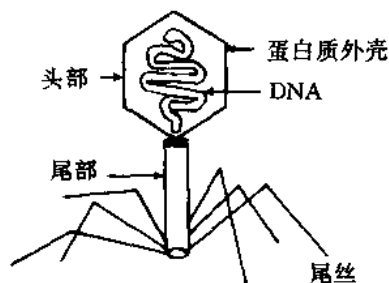
20 世纪 30 年代，量子力学的建立，使物理学经历着一场革命。著名的物理学家玻尔（1885～1962 年），由于其敏锐的观察力及活跃的哲学思想，把世界上大批杰出的年轻学者吸引到丹麦的哥本哈根。他们不仅讨论物理学问题，有时也涉及到生物学问题，试图用刚刚问世的量子力学来解释基因遗传等难题。德尔布吕克（1906～1981 年）就是被吸引来的一位年轻的物理学家。

德尔布吕克出生在德国柏林，大学时学的是原子物理学，曾在尼尔斯·玻尔的实验室工作过。当他被神秘的基因遗传所吸引时，深深感到这是解开生命奥秘的一把钥匙。因此，他决定放弃对原子物理学的研究，而转向热热闹闹的生物学。1937 年，德尔布吕克到美国加利福尼亚工业学院摩尔根的研究基地——果蝇实验室，追随摩尔根专心从事遗传学的核心——基因复制研究。在那时，一些生物学家已经开始利用大肠杆菌这种微生物以及更简单的生命体——噬菌体代替果蝇进行遗传现象的研究。这一点立刻引起了德尔布吕克等人的重视，从而体现出他们对新产生热点的敏感性。可以说，科学的敏感性是成功的重要因素。

科学的选材

噬菌体,是一种比细菌小得多,能够侵入细菌使细菌得病的病毒。就像流感病毒侵入人体,使人患流感一样。但噬菌体只能在细菌体内才能生存。噬菌体在细菌体内 20 分钟就能繁殖出数百个后代,致细菌于死地,细菌破裂,释放出大量噬菌体。人们叫它噬菌体,就是因为它能吞噬细菌。噬菌体的结构非常简单,只有一个蛋白质外壳,里面就是 DNA。可以说这是一个包着蛋白质外壳的自由基因组,因此是研究基因和遗传信息传递的最好材料。

德尔布吕克于 1940 年同意大利生物学家卢里亚(1912~)、美国生物学家赫尔希(1908~)等人建立了世界闻名的噬菌体研究小组。他们每年夏天都要到纽约附近的冷泉港举办“噬菌体”暑期讲习班,以讲习班为中心团结了一批年轻有为的科学家。这些人当时被称之为遗传信息学派。他们用噬菌体作为研究材料,可谓是独辟蹊径。



噬菌体模式图

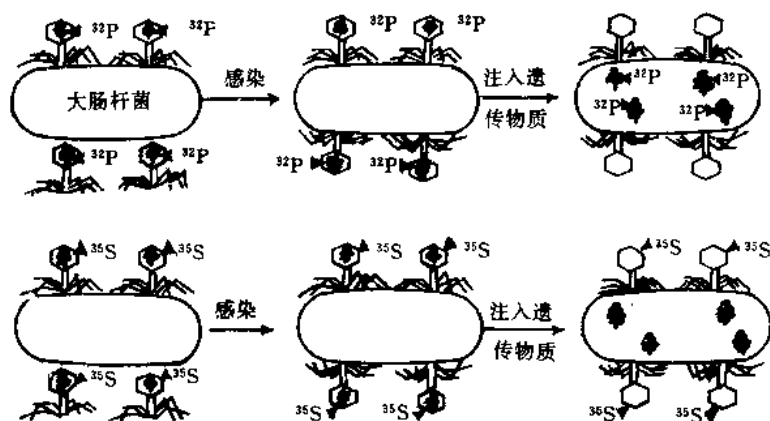
巧妙的实验

他们巧妙地应用同位素标记技术,使噬菌体的 DNA 标记上放射性同位素磷(^{32}P),使噬菌体的蛋白质外壳标记上放射性同位素硫(^{35}S),然后观察放射性磷、硫的行踪。因为蛋白质含有 ^{35}S ,DNA 含有 ^{32}P ,这样就可以知道 DNA 和蛋白质的行踪了。

由于噬菌体这种细菌病毒只有在活体细菌细胞中才能繁殖,于是他们把感染了噬菌体的大肠杆菌培养在含有 $[\text{}^{32}\text{PO}_4]^{3-}$ 的培养基中,这样新合成的噬菌体的 DNA 就会被标记上 ^{32}P ;把感染了噬菌体的大肠

杆菌培养在含有 $[^{35}\text{SO}_4]^{2-}$ 的培养基中,那么新合成的噬菌体外壳的蛋白质就会标记上 ^{35}S 。把这两种带有不同标记的噬菌体分别用来感染大肠杆菌,观察结果。

他们发现,噬菌体在进入大肠杆菌时,先来了一个金蝉脱壳,脱去了裹着的蛋白质外衣,把蛋白质外壳留在了大肠杆菌菌体的外边,只有赤裸裸的 DNA 分子进入了大肠杆菌菌体。啊!原来是这样。正是这个 DNA 分子,在大肠杆菌中繁殖生成了许许多多新一代噬菌体。这就清楚地表明,噬菌体的遗传物质是 DNA,而不是蛋白质;同时说明了 DNA 带有自我复制的信息,以及 DNA 能指挥合成外壳蛋白质的重大作用。



简单而伟大的实验

这是一个简单而又了不起的实验。它以无可争辩的事实证明, DNA 是遗传信息的载体。由于德尔布吕克、卢里亚、赫尔希从事噬菌体研究的重大成就以及对创立分子生物学作出的贡献,1969 年获得了世界最高科学奖——诺贝尔生理学或医学奖。

科学的假设

在科学发现史上,一个新的热点出现时,往往会吸引众多学科的科

学家投身其中,并从各自的学科出发提出解决方法 and 研究理论,这是科学上的常事。DNA 作为遗传物质的载体被确认后,一场全力以赴弄清 DNA 的结构,揭示遗传之谜的“竞赛”就在世界上许多实验室激烈地开展起来了。

在奥妙无穷的生物遗传现象的吸引下,奥地利出生的著名物理学家、近代量子力学的奠基人——薛定谔(1887~1961年)也投身于这一研究领域。他用一双善于观察物质微观世界的慧眼,观察了千姿百态的生物界。他对生物界的遗传现象感到莫大的兴趣。生命一代一代地复制着自己的模型,培育出忠实于自己形象的新的生命体。这种复制过程是那么精确,就像工厂里的工人按照工程师绘制的蓝图制造机器一样。这是一种什么样的蓝图呢?薛定谔想到了电报。

早在 1844 年 5 月 24 日,物理学家莫尔斯(1791~1872 年)万分激动,他把自己发明的用点(·)、线(—)符号组成的电文,发往 40 英里以外的巴尔摩城。那里的收报机收到了莫尔斯的电码,并按莫尔斯编制的电码本翻译出了电文。世界上第一份载着文明信息的电报诞生了。点、线两种符号在收报机里听到的是长、短两种声音,竟能传递人们十分复杂的信息。那么生命遗传信息又是如何传递的呢?薛定谔在 1944 年出版了他著名的《生命是什么》一书。书中指出:染色体是由化学成分相同,而结构不同的单体组成的。这些单体严格、精确的排列,构成了遗传密码,像莫尔斯电报中用点(·)和线(—)排列构成大量信息一样。生命的密码被复制,就像拷贝一样正确无误地传给子孙后代。

这一新颖形象的假设,启发人们用全新的物理思想和方法来研究生物遗传现象。这一假设是真?是假?有多少可行性?科学家们思索着、实验着,久久没有作出回答。

新技术帮忙

虽然 DNA 是遗传的关键物质,但 DNA 分子只有头发丝直径的四万分之一那么细,即使在电子显微镜下,也不肯显露出其神秘的面容。这么细的长丝又是如何指挥如此复杂的生命活动呢?想来,它一定有着

复杂的结构,以一定的方式携带着遗传密码,并使它们一代一代传递下去。

怎样才能知道 DNA 的分子结构呢?用光学显微镜只能看到细胞中的染色体,但要观察它的分子结构,光学显微镜就无能为力了。工欲善其事,必先利其器。科学家又找到了新的方法,那就是一种叫做 X-射线衍射技术。

X-射线衍射技术是 1912 年由英国物理学家布拉格父子始创的。由于 X-射线波长很短,与物质晶体内的原子或分子间的距离相近,当一束 X-射线通过晶体时,就会发生一种叫做衍射的现象,表现出衍射的强度在某一方向上加强或减弱,即所谓的衍射图。通过分析这种衍射图样,就可以确定晶体内部原子间的排列和原子或分子之间的距离。这就是现在广泛应用的 X-射线晶体衍射分析技术。小布拉格的学生阿斯特伯首先用 X-射线衍射方法来测定 DNA 和蛋白质的结构时,尽管他们拍摄出的衍射照片质量不高,但仍可以看出它们大体模样,似乎都表现出是折叠的卷曲的长纤维,呈现长长的丝状体。

当研究 DNA 的结构成为 20 世纪 50 年代初的热门时,很多科学家投入了极大的热情,其中有 3 个著名的小组对 DNA 结构的解析作出了巨大的贡献。一个是英国皇家科学院的晶体衍射专家威尔金斯(1916~)和年轻的女科学家弗兰克林(1920~1958 年),他们制备出了高纯度定向的 DNA,并且通过精湛的衍射技术,拍摄到了非常清晰的 X-射线衍射照片。正是这张非常清晰漂亮的照片,为 DNA 双螺旋结构的发现提供了极其重要的依据。然而,发现这一结构的不是这二位拍摄衍射照片的科学家。

另一个小组是美国加州工学院著名的结构化学家鲍林(1901~1988 年)。在此之前,他们已经建立起了蛋白质以肽链为骨架的 α 螺旋结构,因为蛋白质是由许多肽链构成的。此时,他们还对 DNA 的结构提出了他们的“三链模型”。

然而,最终到达终点,发现 DNA 双螺旋结构的是在英国卡文迪什实验室工作的美国年轻生物学家沃森(1928~)和英国物理学家克里克(1916~)。

最佳的组合

沃森出生于美国芝加哥，少年时代就显露出他的才华，15岁进入著名的芝加哥大学学习动物学。在轻松愉快的学习生活中，他一直幻想毕业后成为一名鸟类学家，把自己的一生贡献给蓝天飞翔的小鸟。业余时间，沃森又是一名无线电技术的高手，生活充满情趣，日子过得愉快充实……。



沃森和克里克

沃森获博士学位后，来到著名的遗传信息学派卢里亚的研究所，专门从事噬菌体研究。1951年，23岁的沃森被派到英国剑桥大学卡文迪什实验室深造。在卡文迪什，沃森遇到了英国伦敦大学毕业的物理学家克里克。克里克比沃森年长12岁，是一个地道的英国人，1937年大学毕业，就在攻读博士学位期间，第二次世界大战爆发，中断了学业。战后克里克打算重返物理学领域，从事基本粒子研究。克里克也是被薛定谔的《生命是什么》一书打动，放弃了物理学而转向生物研究的。克里克

曾和著名的结构学家佩鲁茨(1914~)等人一起从事过血红蛋白质的X-射线衍射结晶学分析,在研究分析X-射线衍射照片方面有很高的水平。

沃森和克里克一见如故,真是,有缘千里来相会。他们相互发现彼此都对DNA的分子结构很感兴趣。一个生物学家,一个物理学家,一个遗传信息学派,一个结构学派,于是他们相互组成了理想的搭档,开始了具有深远历史意义而激动人心的合作之路。他们的合作研究爆发了巨大的能量。

从1951年11月到1953年4月的18个月中,他们同几个研究小组进行着重要的学术交往,吸收了宝贵的科学营养。当时,他们还没有自己的实验室,只能利用别人的分析数据,从建立分子模型开始。沃森和克里克首先建立了一个“三链模型”。当时DNA的X-射线衍射照片表明,DNA分子可能是具有螺旋形几何形状。但对“三链模型”,由于没有高清晰度的X-射线衍射照片提供实验依据,很快被认为是错误的。

屋漏偏遇连阴雨。“三链模型”是错误的,接着沃森的奖学金被中断。克里克不认真做博士论文被校方认为是惹事生非。著名的晶体衍射分析学家布拉格则宣布放弃DNA结构研究,干点正事。此时,他们只好忍气吞声。沃森暂时转到烟草花叶病毒的研究,以此为幌子;克里克则重新去搞蛋白质研究。事情表面平静下来,其实他们脑海里正波澜壮阔,翻江倒海,构思着DNA的结构模型。

柳暗花明

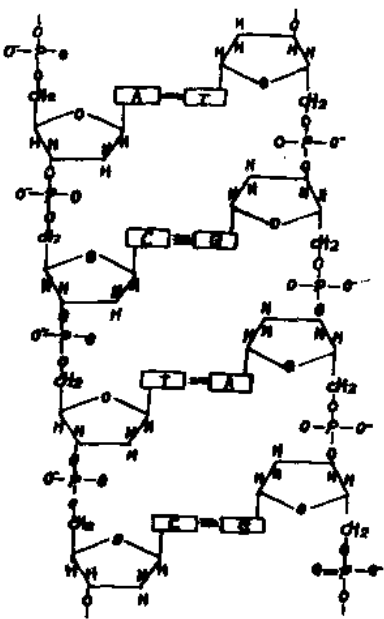
1952年的最后一天,鲍林向美国科学院发表了他的DNA“三链模型”。鲍林模型把DNA的密度计算过高,还有一些明显的错误。1953年2月6日沃森赶到伦敦与威尔金斯、弗兰克林等人对鲍林的模型进行了讨论,就DNA是否是螺旋问题,他们之间争论非常激烈。鲍林的模型与沃森和克里克一年前提出的模型十分相似。从鲍林的失败中,他们看到了自己的工作领先的,而且更意识到DNA结构有可能迎刃而解的关键时刻即将到来。

就在此时,1953年2月6日,在与沃森的激烈讨论中,威尔金斯第一次向沃森展示了他和弗兰克林在1951年拍摄的那张非常出色而漂亮的DNA衍射照片时,沃森内心一惊,而当时威尔金斯和弗兰克林认为照片排除了双螺旋结构的可能性。可惜!这一认为,排除了他们的重大发现。可是沃森确被那照片中一个小小的十字架图样牢牢地吸引住了,他盯着!盯着!似乎凝固在那里。沃森敏锐地意识到,DNA分子很可能是双螺旋结构。

沃森和克里克立即投入到建立双螺旋模型的研究之中。经过研究分析,他们认为这种DNA双螺旋结构很像一螺旋形的梯子,两边的骨架就是糖和磷酸,夹在中间一级一级的阶梯则是2个碱基相联。当时已经知道,DNA有4种碱基,它们是腺嘌呤(A)、胸腺嘧啶(T)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)。

刚建立双螺旋模型时,沃森和克里克他们让相同的碱基配对,例如A基配A基,T基配T基。但他们发现,这种对称式的配对方式,在结构上会使两条骨架链发生扭曲。正当他们为此事烦恼而一筹莫展时,另一朵鲜花已经开放。

沃森和克里克通过研究有关DNA的实验报告和请数学家计算后,



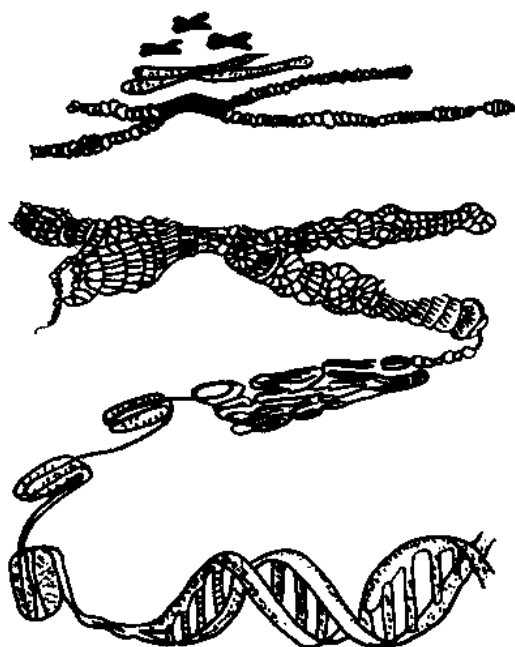
DNA 的分子结构

他们意识到嘌呤有吸引嘧啶的趋势。同时,奥地利生物化学家查哥夫(1905~)对DNA分子进行碱基分析得出的结果给沃森和克里克提供了重要的科学依据。查哥夫分析DNA的碱基后发现,在他分析的每个DNA分子样品中,A基和T基的数目相等,G基与C基的数目相等。而A·T与G·C的比例则随生物的种类不同而有不同的变化。这一结果使沃森和克里克高兴不已,茅塞顿开,他们终于证实了DNA的

双螺旋结构。

沃森和克里克合写的论文《核酸的分子结构——DNA 的结构》在英国《自然》杂志上发表时，见多识广的资深编辑可能是为了稳妥起见，更可能是因为作者都是科学界的“小人物”，所以《自然》杂志只给了沃森和克里克的论文一版多一点的篇幅，与那些关于生命遗传之谜的长篇大论相比较，这篇文章太微不足道了，简直像一个丑小鸭。

然而，科学发展的历史上，确认了这篇千把字论文的价值，它能与前一世纪的达尔文和孟德尔的伟大成就媲美。近 50 年来，生物学中的每个重大进展和科学突破，可以说没有一



DNA 双螺旋模式图

项不是直接或间接地与沃森、克里克的伟大成就相联系。它的影响是极其深远的，无怪乎《自然》杂志编辑部在 DNA 双螺旋结构发现 20 周年的时候，在显著位置将《核酸的分子结构》一文重新发表，并出专刊，这在科学史上，特别是《自然》杂志历史上，是极其不平常的。10 年后，该杂志编辑部又在英、美等国举行学术讨论会，以纪念 DNA 双螺旋结构论文发表 30 周年。

回想起来，当时已接近发现 DNA 双螺旋结构的不止沃森和克里克。鲍林由于陷入“三链模型”的错误设想，未能登顶；威尔金斯和弗兰克林没有跳出蛋白质的单链螺旋而错失良机。年轻的沃森和克里克没有鲍林的经验，也没有威尔金斯和弗兰克林的第一手资料，为什么能捷

足先登、获得胜利呢？首先是他们俩的知识互补、互相配合。其次是他们集思广益、博采众家之长。他们从鲍林那里学到了氢键结合的概念，从查哥夫那里知道了碱基配对的比例；加上他们个人的智慧和丰富的想象力，同时接受了化学家诺林对他们模型提出的意见，取得数学家的帮助……，最后完成了DNA双螺旋结构的建立。1962年沃森、克里克与威尔金斯共同获诺贝尔生理学或医学奖。

露出庐山真面目

DNA双螺旋结构的发现，以遗传学为中心的分子生物学研究立即热闹起来。随着工作的深入、思想的活跃，使科学家们即刻想到了新的问题：由4种核苷酸构成的DNA分子与由20种氨基酸构成的蛋白质分子，它们之间是一种什么样的关系？生命体内两类生物大分子：核酸和蛋白质是通过什么样的方式联系和统一于生命活动之中的呢？于是科学家们又开始了新的探索 and 攀登。

20世纪40年代，当人们认识到DNA是遗传物质，而蛋白质是基因的产物时，就开始研究这两类生物大分子之间的联系。1953年夏季，科学家们根据已有的知识认为：在DNA多核苷酸链上，核苷酸碱基确切的序列代表了基因的遗传信息；同时指出，任何基因的遗传信息除了代表一个给定的多肽链的一级结构（即氨基酸的排列顺序）外，不可能有任何其他东西。这一认识，就把DNA链上的核苷酸碱基序列和多肽链上氨基酸序列联系起来了。科学家们明确了“一个序列”与“另一个序列”是紧密相关联的。但它们之间是一种什么“语言”联系的？是计算机似的二进制？三进制？这种“语言”的特点是什么？尚不得而知。

1954年，美籍俄国科学家加莫夫首先提出了他的方案。他认为：在DNA多核苷酸链上，相邻的3个核苷酸碱基作为1个氨基酸的密码。这一方案虽然没有实验依据，纯属理论探索，但可以看出，遗传密码这一概念和方案，实质是核酸中的4种碱基的排列次序怎样决定蛋白质中20种氨基酸的排列次序问题。其中包括遗传密码单位的长短和遗传密码的句读方式，以及遗传密码的破译问题。

科学家们已经知道,DNA 上贮存着惊人的遗传信息,它犹如一本生命的“天书”,现在的问题是要懂得这部“天书”的字、句、段、章的规则。读“天书”必须从“识天字”开始,那些“天字”就是遗传密码。

如果没有一定的技巧、方法,要想从“宇宙”一般无穷大的 DNA 分子中找出决定某一个氨基酸的碱基排列顺序的“天字”,那真比大海捞针还要困难。因此,理智的推理和灵巧的方法是科学地解决问题的前提。

核酸和蛋白质都是“语言”分子。核酸分子中只有 4 种碱基与骨架相连。核酸语言由 4 个“字母”组成,在 DNA 中为 A、T、G、C;在 RNA 中为 A、U、G、C。蛋白质“字母”表中,则由 20 个不同的字母或单体组成,这些字母或单体就是那 20 种氨基酸。所有蛋白质都以不同种的和排列次序不同的氨基酸组成。用语言作比拟,蛋白质制备类似于书写一列几百万到几十亿个相同的单词。

尽管核酸和蛋白质都是“语言型”聚合物,但它们包含信息量的方式是不相同的。与有 20 个“字母”的蛋白质相比,只有 4 个“字母”的核酸,它们的语句型式和单词要素是有明显差别的。于是科学家们作出以下推论。

首先,1 个碱基不能决定 1 个氨基酸,因为碱基数为 4 个,远远小于 20 种氨基酸。其次,2 个碱基也不能决定 1 个氨基酸,因为 4 个碱基任取 2 个,再加上排列方式的不同,共有 $4^2=16$ 种,也小于 20 种氨基酸。

那么,3 个碱基就可以决定一个氨基酸了, $4^3=64$ 种,已经多于氨基酸总数 20 个了。如果 4 个碱基呢? $4^4=256$,远远大于氨基酸的种数了。

是“三字经”? 还是“四字词”?

1961 年,克里克和布伦纳等人解决了遗传密码是“三字经”还是“四字词”的问题。他们用噬菌体为材料,作基因重组实验。他们在一条核苷酸链的两个相邻的核苷酸中间,插入一个碱基,从而使译码过程中读码的起点位移,结果在肽链中插入了一段不正确的氨基酸;而在噬菌体的 DNA 中减去一个碱基,或者再加上两个碱基时,结果却恢复了原

来的样子。实验结果表明,生命的遗传密码是以三联体核苷酸的形式代表着 20 种不同的氨基酸,而且由一个固定的点开始,朝一个方向一个挨一个地读下去,如果中间有一个核苷酸发生增加或者减少的误差,以下的密码都会发生变化。

他们的工作实际上回答了由 4 种脱氧核苷酸构成的 DNA 是如何“指挥”或“调配”20 种氨基酸,用 20 种氨基酸是怎样按照生命蓝图合成特定的蛋白质的。

经过科学家们的努力,1966 年终于解开了这个谜。原来,脱氧核苷酸通过组成“密码子”的方式来编码(调配或指挥)不同的氨基酸。这种密码子就像给 20 种氨基酸再起一个代号一样,例如 UUU 表示苯丙氨酸,UGU 表示半胱氨酸等等。

遗传密码表

第一位碱基	第二位碱基				第三位碱基
	U	C	A	G	
U	UUU 苯丙氨酸	UGU 丝氨酸	UAU 酪氨酸	UGU 半胱氨酸	U
	UUC 苯丙氨酸	UGC 丝氨酸	UAC 酪氨酸	UGC 半胱氨酸	C
	UUA 亮氨酸	UGA 终止	UAA 终止	UGA 终止	A
	UUG 亮氨酸	UCG 丝氨酸	UAG 终止	UGG 色氨酸	G
C	CUU 亮氨酸	CCU 脯氨酸	CAU 组氨酸	CGG 精氨酸	U
	CUC 亮氨酸	CCC 脯氨酸	CAC 组氨酸	CGC 精氨酸	C
	CUA 亮氨酸	CCA 脯氨酸	CAA 谷氨酰胺	CGA 精氨酸	A
	CUG 亮氨酸	CCG 脯氨酸	CAG 谷氨酰胺	CGG 精氨酸	G
A	AUU 异亮氨酸	ACU 苏氨酸	AAU 天冬酰胺	AGU 丝氨酸	U
	AUC 异亮氨酸	ACG 苏氨酸	AAC 天冬酰胺	AGC 丝氨酸	C
	AUA 异亮氨酸	ACA 苏氨酸	AAA 谷氨酰胺	AGA 精氨酸	A
	AUG 甲硫氨酸(起始)	ACG 苏氨酸	AAG 谷氨酰胺	AGG 精氨酸	G
G	GUU 缬氨酸	GCU 丙氨酸	GAU 天冬氨酸	GGU 甘氨酸	U
	GUC 缬氨酸	GCC 丙氨酸	GAC 天冬氨酸	GGC 甘氨酸	C
	GUA 缬氨酸	GCA 丙氨酸	GAA 谷氨酸	GGA 甘氨酸	A
	GUG 缬氨酸	GCG 丙氨酸	GAG 谷氨酸	GGG 甘氨酸	G