

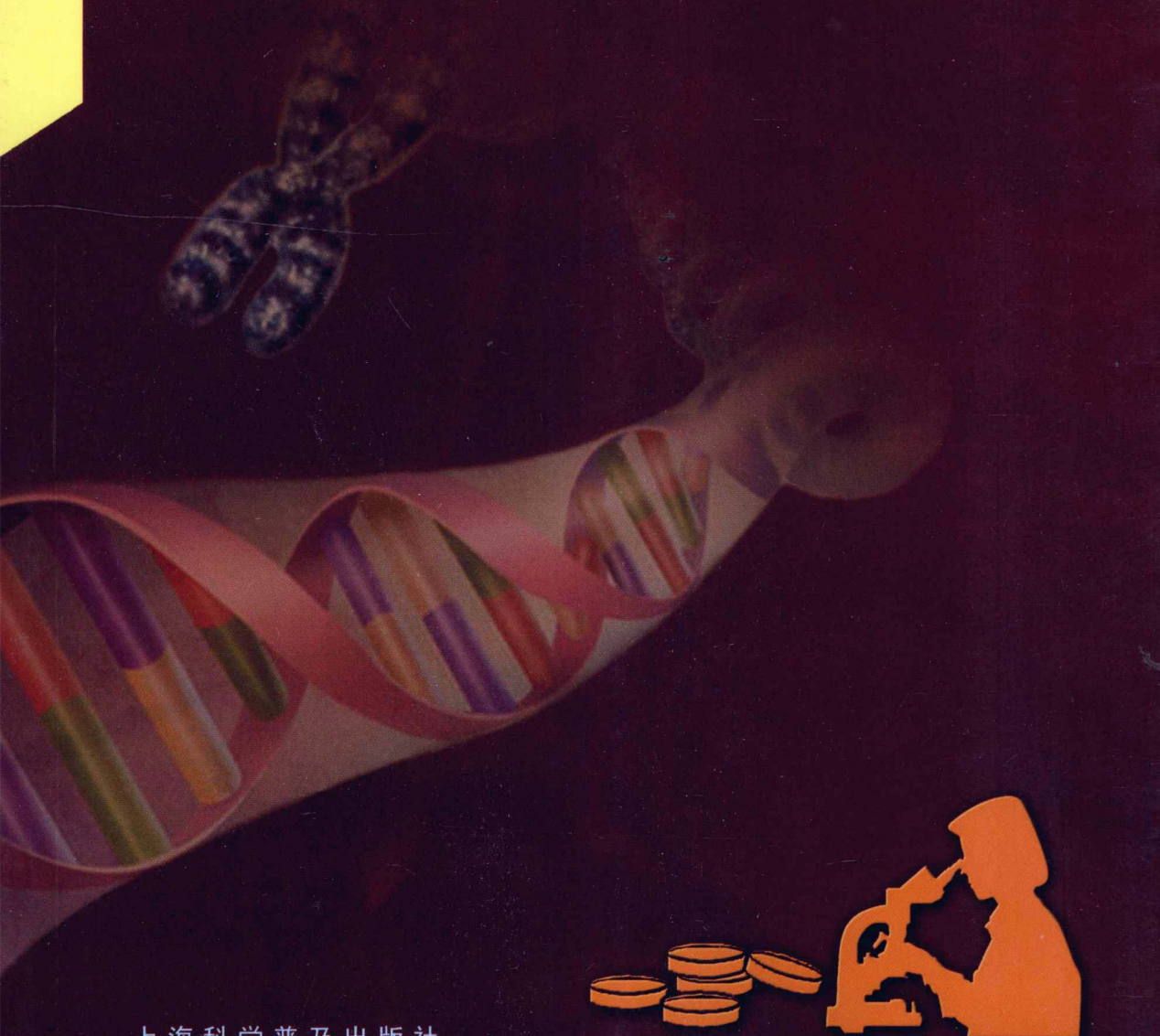


科学眼丛书

Yu RenLei JianKang

卢大儒 戴郁青 主编

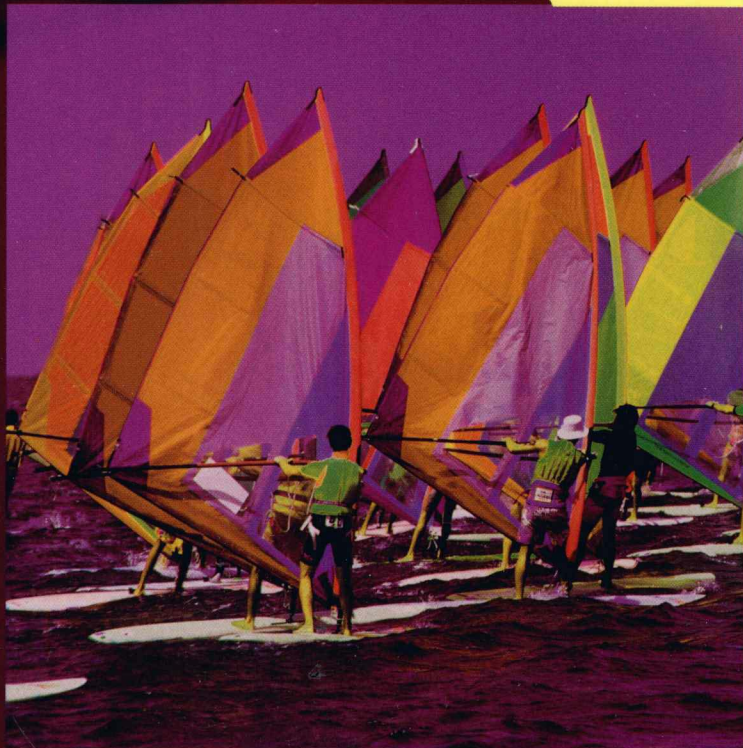
基因与人类健康



上海科学普及出版社



装帧设计：诸黎敏



DIYIN

Yu RenLei JianKang

ISBN 978-7-5427-4336-7



9 787542 743367 >

定价：23.00元

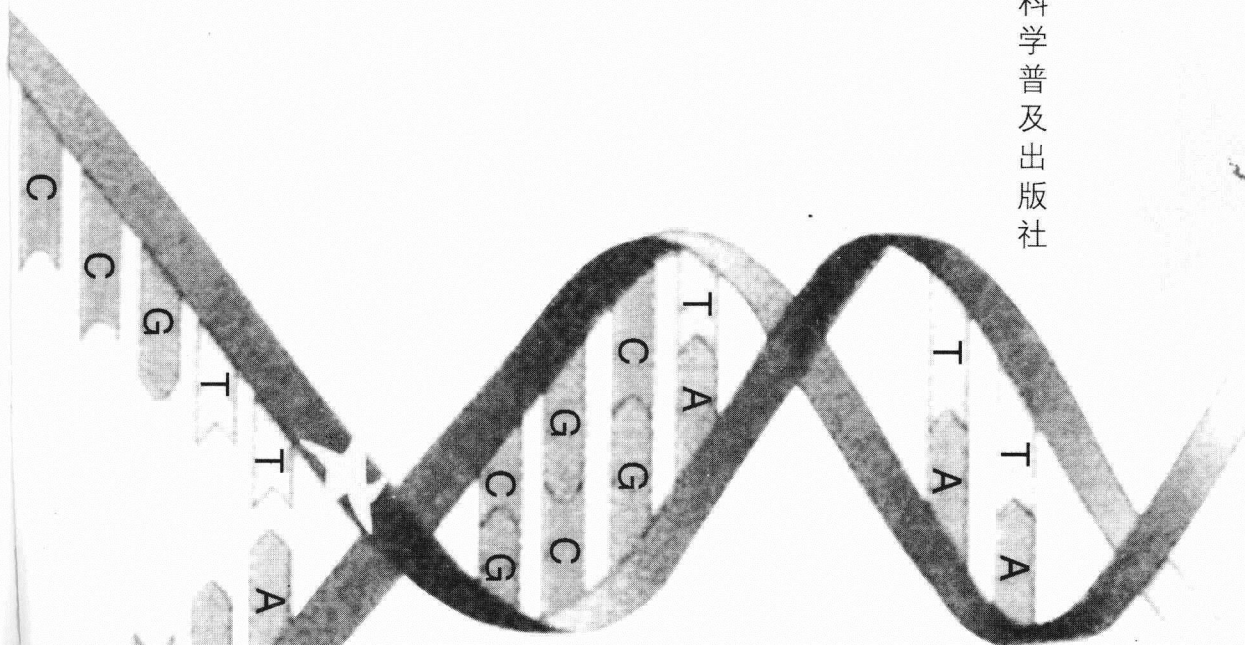


科学眼丛书

基因与人类健康

卢大儒 戴郁青 主编

上海科学普及出版社



图书在版编目(CIP)数据

基因与人类健康/卢大儒,戴郁青主编. —上海:上海科学普及出版社,2010.1

(科学眼丛书)

ISBN 978-7-5427-4336-7

I. 基… II. ①卢…②戴… III. 人类基因—关系—健康—普及读物 IV. Q987-49 R161-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 105002 号

责任编辑 史炎均

基因与人类健康

卢大儒 戴郁青 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 上海叶大印务发展有限公司印刷

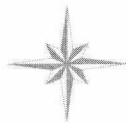
开本 787×1092 1/16 印张 9.5 字数 150 000

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5427-4336-7 定价: 23.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题

请向出版社联系调换



——编者的话

基因是一个古老而又年轻的话题。早在 130 多年前,遗传学创始人孟德尔就提出了遗传因子的假设。此后历经 50 余年,基因的庐山真面目才脱颖而出。近年来,随着人类基因组计划研究的发展,基因的内涵又有了新的发展,基因已经成为生命科学研究中最为本质的内容和热点。在基因研究中,人们最为关注的集中在人类健康及其相关疾病方面。

我从 1988 年起开始了人类疾病相关的医学分子遗传学科研和教学工作,承担了一些人类疾病相关的基因克隆、基因检测和诊断、基因工程和基因治疗方面的国家课题,并于 1997 年编写出版了面向大学生的《医学分子遗传学》教材,其中重点内容就是介绍基因与疾病的相互关系,基因及其技术在人类疾病预防、诊断和治疗中的作用。该书得到了老师和同学的好评,在业内产生了一定的影响力,但是由于该书内容专业性较强,加上近年来基因与人类健康的研究发展迅速,知识更新很快,不能满足广大生命科学爱好者的要求。

在上海市科普创作基金的支持下,我们精心编写了这本科普读物。本书内容结合当今迅速发展的人类疾病相关基因的研究和应用成果,面向广大生命科学爱好者,特别是那些关心自身健康的人士。

由于人类疾病相关基因领域的研究进展迅速,本书难免会遗漏一些重要进展。同时,由于我们的知识水平有限,肯定还会存在不少问题和错误,欢迎批评指正。

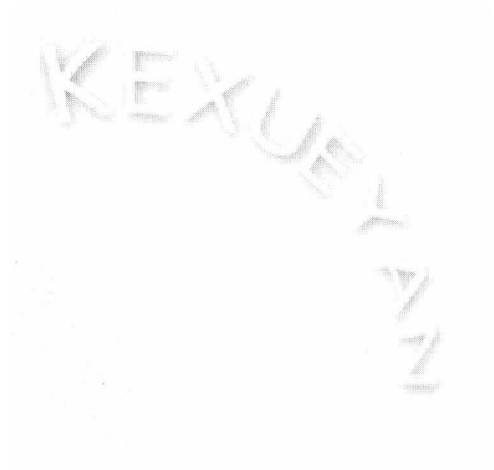
卢大儒

2009 年 9 月

于复旦大学遗传学研究所

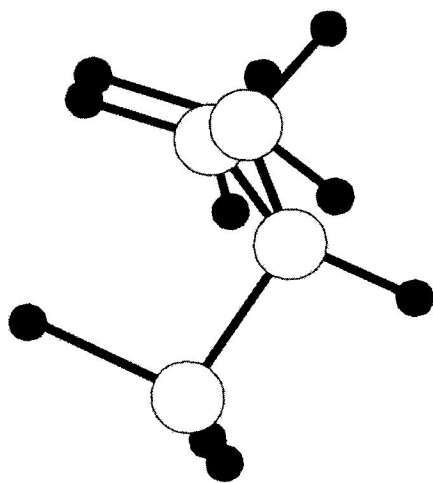
编者的话	1
第一篇 认识基因	1
基因认识之路	3
生命的中心法则	8
人类基因组计划	13
HapMap 计划及全基因组关联研究(GWA)	17
认识遗传病	21
表观遗传学	26
第二篇 寻找基因	31
发现致病基因	33
高血压与基因	38
糖尿病与基因	43
肿瘤与基因	47
阿尔茨海默症与基因	54
药物遗传学	62
硝酸甘油的有效性与基因	67
化疗药物与基因	69
结核杆菌耐药与基因	75
药物性耳聋与基因	78
营养与基因	83
营养、基因与心血管疾病	86
营养、基因与肿瘤	90
第三篇 基因工程	95
基因工程药物	97
基因工程疫苗	104
基因治疗	111
第四篇 理性思考	117
反对基因宿命论	119
基因伦理与法律	125
基因检测行业的发展与思考	135
编后语	141





第一篇

认识基因



我们现在就像一个无知的孩子走进了科学的图书馆,这里有自然花了亿万年写成的生命天书,我们现在只是知道了一点点。

遗传学家艾瑞克·兰德(Eric Lander)博士

基因认识之路

生命奥秘在自然界中无处不在,在认识世界的漫长历史过程中,人类从未停止过对生命奥秘孜孜不倦的探索。面对浩瀚如海的生物种类和纷繁芜杂的生命活动,人们发现了一个存在于生命和一切生物学现象中的普遍特征:生物体只繁殖与自身相似的同类,正所谓“种瓜得瓜,种豆得豆”、“有其父必有其子”。这是为什么呢?为了解答这个问题,遗传学作为一门认识与阐明遗传和变异这一自然现象和规律的科学,便应运而生并蓬勃发展起来。

从19世纪发现遗传学规律至今,生物遗传之谜的面纱被逐步揭开。无数生命科学家用他们的智慧和汗水,在与科学难题的对垒中,赢得了一次又一次的伟大胜利,推动了生命科学的发展。随着DNA的结构与功能、遗传密码及基因表达调控的本质等重要问题相继被阐明,人类逐步从生物学的必然王国走向自由王国。改造自我、设计生命,这些人类几千年来的梦想将最终实现。

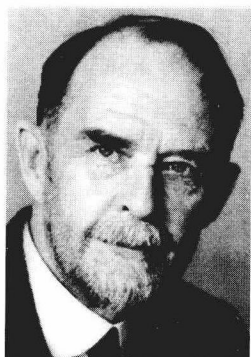
谈到遗传学,目前公认的创始人是伟大的奥地利生物学家格雷戈尔·孟德尔^{*}(Gregor Mendel, 1822—1884)。他从小爱好园艺,虽然因为家境贫寒,没有念完大学就当了他修道士,但他却矢志不渝地钻研遗传规律。通过8年的豌豆繁育试验,他选择了7对差异明显的简单性状,通过杂交、自交以及测交的方法,对豌豆的生长做了仔细的观察和详细的记录,并运用统计学方法,计算出不同性状豌豆的数量比例,总结出在成熟的生殖细胞中同对因子分离、异对因子自由组合这两条著名的遗传规律,也就是人们所熟知的“孟德尔定律”。孟德尔的最伟大之处在于大胆假设遗传物质的存在,创造性地提出了“遗传因子”的概念,并且用它来圆满地解释他的豌豆遗传实验。孟德尔定律的核心是阐明了遗传因子进行“颗粒遗传”的思想,开辟了遗传学研究的先河。令人遗憾的是,由于孟德尔的研究方法和结论远远超过了当时人们的科学认识水平,因此,他的这些天才发现和见解,并没有立即引

^{*} 注:已故著名科学家均加生卒年。





遗传学家约翰逊



遗传学家摩尔根

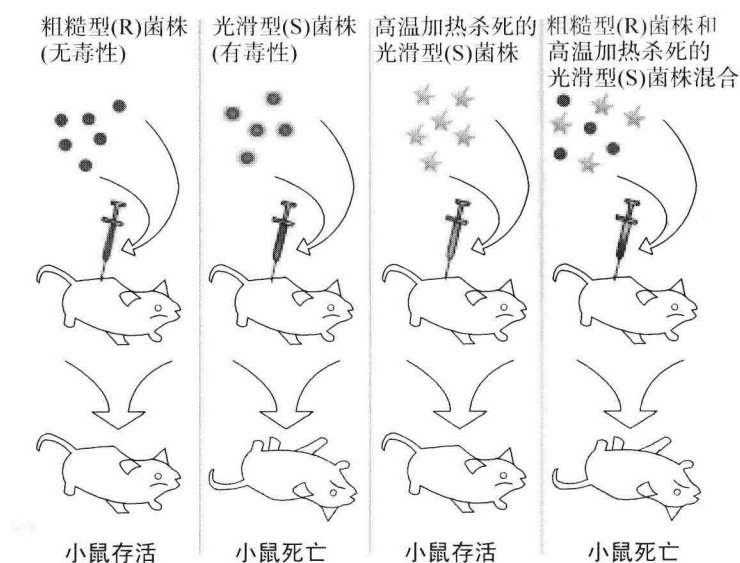
起生物学界的注意。从 1865 年他发表《植物杂交试验》一文到 1884 年去世,欧美各国科学界几乎无人意识到他所作的巨大贡献。直到 1900 年,孟德尔的理论才被重新发现并得到普遍应用,他也因此被公认为经典遗传学的奠基人。

1909 年,丹麦遗传学家维尔赫姆·约翰逊(Wilhelm Johannsen, 1857—1927)根据希腊文“给予生命”之义,创造了“基因(gene)”一词,用来代替孟德尔所提出的“遗传因子”一词。从此,基因便被看作是生物性状的决定者,生物遗传变异的结构和功能的基本单位。我国遗传学泰斗谈家桢先生首次将“gene”译为“基因”,既谐音又表达其正确含义:基本的因素,凸显了基因的重要。

不管是孟德尔提出的“遗传因子”,还是约翰逊创造的“基因”一词,没有人知道它究竟是什么物质,在生物的什么地方。在孟德尔遗传学的基础上,美国遗传学家托马斯·摩尔根(Thomas Morgan, 1866—1945)又提出了染色体的基因学说,不仅完善了遗传学定律,而且使基因从此不再“虚无缥缈”。1910 年,摩尔根和他的助手以果蝇为材料进行近亲交配实验,在许多野生型红眼果蝇中发现了一只白眼雄果蝇。他和助手又通过一系列进一步的实验和深入研究,终于发现了遗传传递的连锁规律。同时,他的实验结果也进一步证实了孟德尔遗传因子的存在,并且第一次将代表某一特定性状的基因,同某一特定的染色体联系了起来,创立了遗传的染色体理论。摩尔根特别指出:种质必须由某些独立的要素组成,我们把这些要素称为遗传因子,或者更简单地称为基因。摩尔根的研究成果使科学界普遍认识了染色体的重要性,并接受了孟德尔的遗传学原理,为研究基因的结构和功能奠定了理论基础。这是遗传学发展史上的一个里程碑。随后,遗传学家又应用当时发展的基因作图(gene mapping)技术,构筑了基因的连锁图,进一步

揭示基因在染色体载体上是按线性顺序排列的规律。

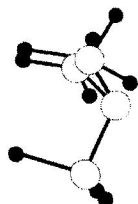
染色体是由蛋白和核酸构成的,究竟谁才是基因的携带者呢?虽然当时多数人相信蛋白质更加重要,结果却出乎意料。首先用实验证明基因的化学本质就是DNA(即脱氧核糖核酸)的是英国细菌学家弗雷德·格里菲斯(Fred Griffith, 1879—1941)和美国细菌学家奥斯瓦德·艾弗里(Oswald Avery, 1877—1955)。1945年,艾弗里针对肺炎链球菌转化的研究发现,使细菌性状发生转化的因子是DNA,而不是蛋白质或RNA(即核糖核酸)。这一重大发现轰动了整个生物学界。因为当时的研究者大都认为,只有蛋白质这样复杂的大分子才能决定生物学性状和遗传。艾弗里的工作以及随后的美国微生物学家阿尔弗雷德·赫尔希(Alfred Hershey, 1908—1997)和他的学生蔡斯(Chase)的噬菌体实验打破了这种观念,在遗传学理论上确立了全新的观点,即DNA是遗传信息的载体。



肺炎链球菌转化实验图解

注:光滑型(S)菌株具有荚膜,可保护自身,抵抗宿主的免疫系统,进而使宿主死亡。粗糙型(R)菌株则无此构造,因此无法幸免于免疫系统的攻击。4组实验结果显示:高温加热杀死的光滑型(S)菌株,在其细胞内可能存在一种具有遗传转化能力的物质,它能通过某种方式进入粗糙型(R)菌株的细胞,并使粗糙型(R)菌株获得光滑型(S)菌株的遗传特性,从而杀死小鼠。

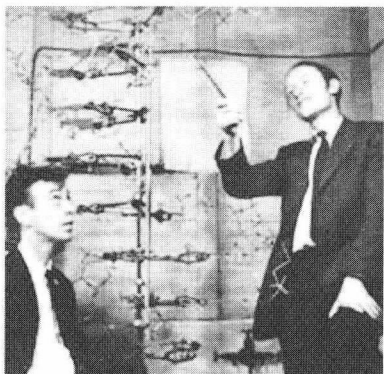
随后揭示DNA作为遗传信息载体的结构竞赛,吸引了一批优秀的科学家加入,不仅有遗传学家,而且有更多的化学家、物理学家,可谓群贤毕至。



1953年,美国生物化学家詹姆斯·沃森(James Watson,1928—)和英国生物物理学家弗朗西斯·克里克(Francis Crick,1916—2004)提出了DNA双螺旋结构模型,赢得了这场竞赛的胜利。从此,遗传学的历史从细胞研究阶段进入了分子研究阶段。

20世纪50年代初,美国23岁的生物学博士沃森来到剑桥大学卡文迪什实验室做博士后,与他分享同一个办公室的克里克当时正在做博士论文。他俩一见如故,开始了对遗传物质DNA结构的合作研究。

英国科学家摩里斯·威尔金斯(Maurice Wilkins,1916—2004)等用X射线衍射技术对DNA结构潜心研究了3年,意识到DNA是一种螺旋结构。女物理学家罗莎琳德·富兰克林(Rosalind Franklin,1920—1958)在1951年底也拍到了一张十分清晰的DNA X射线衍射照片。



DNA双螺旋结构的发现
者沃森、克里克

1952年,美国化学家莱纳斯·鲍林(Linus Pauling,1901—1994)发表了关于DNA三链模型的研究报告,这种模型被称为 α 螺旋。沃森与威尔金斯、富兰克林等讨论了鲍林的模型。威尔金斯出示了富兰克林于一年前拍下的DNA X射线衍射照片,沃森看出了DNA的内部是一种螺旋形的结构,他立即提出一种新概念:DNA不是三链结构而应该是双链结构。他们循着这个思路深入探讨,竭力将有关这方面的研究成果集中起来。通过综合各方面对DNA研究的信息和自己的研究,沃森和克里克达成共识:DNA

是一种双链螺旋结构。这真是一个激动人心的发现!沃森和克里克立即行动,马上在实验室里联手搭建DNA双螺旋模型。从1953年2月22日起,他们夜以继日、废寝忘食,终于在3月7日,将他们想像中的美丽无比的DNA模型搭建成功。

他们的依据有三条:第一条是当时广为人知的,即DNA由6种小分子组成:脱氧核糖、磷酸和4种碱基(A、G、T、C),由这些小分子组成4种核苷酸,这4种核苷酸组成DNA。第二条是最新的,即富兰克林得到的DNA X射线衍射照片。它表明,DNA是由两条长链组成的双螺旋,宽度为20埃。第三条是最为关键的,即美国生物化学家埃尔文·查戈夫(Erwin Chargaff,1905—2002)测定出的DNA组成。他发现DNA中的4种碱基的含量并不

是传统认为的等量的,虽然在不同物种中 4 种碱基的含量不同,但是在同一物种中,A 和 T 的含量、G 和 C 的含量总是相等。

沃森和克里克在 1953 年 4 月 25 日的《自然》杂志上以 1 000 多字的短文及一幅插图公布了他们的发现。在论文中,沃森和克里克以谦逊的笔调,暗示了这个 DNA 结构模型在遗传上的重要性:“我们并非没有注意到,我们所推测的特殊配对暗示了遗传物质的复制机理。”在随后发表的论文中,沃森和克里克详细地说明了 DNA 双螺旋模型对遗传学研究的重大意义:第一,它能够说明遗传物质的自我复制。这个“半保留复制”的设想后来被马修·麦赛尔逊(Matthew Meselson)和富兰克林·斯塔勒(Franklin Stahl)用同位素追踪实验证实。第二,它能够说明遗传物质是如何携带遗传信息的。第三,它能够说明基因是如何突变的。基因突变是由于碱基发生了变化,这样的变化可以通过复制而得到保留。

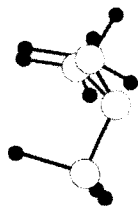
DNA 双螺旋模型的发现,是 20 世纪最伟大的科学发现之一,也是生物学历史上惟一可与达尔文进化论相比的最重大的发现,标志着分子遗传学的诞生。由于沃森、克里克和威尔金斯在 DNA 研究方面的卓越贡献,他们分享了 1962 年的诺贝尔生理医学奖。

随着研究的深入,人们已经了解到生物界并非所有的基因都是由 DNA 构成的。某些病毒和噬菌体只有 RNA 而不含 DNA,它们的遗传物质是 RNA。1956 年,德国科学家阿尔弗雷德·吉尔(Alfred Gierer)和格哈德·施拉姆(Gerhard Schramm,1910—1969)在研究烟草花叶病毒时,首先发现了 RNA 也能够传递遗传信息,同时他们还发现烟草花叶病毒的 RNA 在感染的植株叶片中能够诱导合成新的病毒颗粒。

20 世纪 70 年代后,基因研究随着多学科渗透和实验手段的日新月异又有了突飞猛进的发展。

1977 年,皮瑞·凯姆伯恩(Pierre Chambon)等首次报道了发现基因内部有间隔序列的消息。这些间隔序列叫内含子,基因中另一些被转录形成 RNA 的序列叫外显子。真核生物的结构基因的 DNA 序列由编码序列和非编码序列两部分构成,编码序列被非编码序列分隔开来,这种编码序列被非编码序列割裂开来的 DNA 序列称为割裂基因(split gene)。

1980 年,弗雷德里克·桑格(Frederick Sanger)因设计出一种测定 DNA 分子内脱氧核苷酸排列顺序的方法,而与沃尔特·吉尔伯特(Walter Gilbert)和保罗·伯格(Paul Berg)分获诺贝尔生理医学奖。伯格是研究 DNA 重组技术的元老,他最早(1972 年)获得了含有编码哺乳动物激素基



因的工程菌株。桑格与吉尔伯特发明的 DNA 序列分析法至今仍被广泛使用,成为分子生物学中最重要的工具之一。

1983 年,美国遗传学家芭芭拉·麦克林托克(Barbara McClintock,1902—1992)由于在 20 世纪 50 年代提出并发现了可移动的遗传因子(jumping gene,或者 mobile element)而获得诺贝尔生理医学奖。

从最早的孟德尔遗传因子,到约翰逊的基因学说;从基因的化学本质是 DNA,到遗传物质也可以是 RNA,基因研究领域的每一个成果无疑都给基因概念注入了鲜活的内容,帮助人们揭开层层面纱,更加全面地了解基因的真面目。正如爱因斯坦所说,“科学是永无止境的,它是一个永恒之谜”。可以相信,基因的研究一定还会带给我们更多的惊喜。

生命的中心法则

目前已知,地球上存在着 200 多万种生物,从白雪皑皑的山峰到炎热潮湿的雨林,再到一望无际的沙漠,不同地貌特征的区域有着各自独特的生物群体。而这些生物都是由单细胞发展而来的。那么,小小的一个单细胞是怎样发展成为生物界形形色色的个体的呢?这个问题引起了科学家的思索。这实际上就是遗传物质——基因表达的成果。

早在 1909 年,阿奇博尔德·伽罗德(Archibald Garrod,1857—1936)在《先天性代谢差错》一书中,就描述了黑尿病基因与尿黑酸氧化酶的关系,可以看作是这一领域里实验研究的开端。以红色面包霉(链孢霉)为材料而开创生化遗传学研究的乔治·比德尔(George Beadle,1903—1989),于 1941 年与爱德华·塔特姆(Edward Tatum,1909—1975)的工作证明了基因突变引起了酶的改变,而且每一种基因控制着某一种特定酶的合成,从而提出了“一个基因一种酶”的假说。基因(DNA)主要位于细胞核中,如果酶(化学本质是蛋白质)是在细胞核内合成的,问题倒也简单,可以由基因直接指导酶的合成。可事实真的是这样吗?我们现在已经知道蛋白质的合成场所在细胞质中的核糖体上。

1955 年,莱斯特·戈尔德斯坦(Lester Goldstein)和沃尔特·普劳特(Walter Plaut)观察到用放射性标记的 RNA 从细胞核转移到细胞质。因此,人们猜测 RNA 是 DNA 与合成的蛋白质之间的信使。

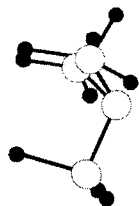
在 1953 年沃森和克里克明确阐明了 DNA 是遗传物质的基础,提出了 DNA 的双螺旋结构和 DNA 半保留复制模型后,1958 年,克里克发表了一篇

题为《论蛋白质的合成》的论文,正式提出了遗传信息的传递方向是 DNA→RNA→蛋白质,即被后来的学者誉为的“中心法则”,这篇论文也被评价为“遗传学领域最有启发性、思想最解放的论著之一”,即 DNA 所蕴藏的遗传信息先传递到 RNA,再转移到蛋白质。下面,我们来看看这一过程是怎样实现的。

DNA 即脱氧核糖核酸,存在于染色体上,定位于细胞核内。它是生物体的“指挥中心”,通过“遥控”的方式管理细胞,指挥细胞合成各种蛋白质,再通过这些蛋白质来“描绘”生物体的所有特征和行为。从结构上来说,DNA 是由单个脱氧核糖核苷酸通过一定的方式连接而成的高聚物。基因是编码氨基酸的 DNA。一个基因的 DNA 所含的核苷酸数目可达数千甚至上百万。但核苷酸却只有 4 种,即通常我们所说的 A、T、G、C。这 4 种核苷酸通过不同的排列组合,构成了不同的序列。每个序列中包含了决定生物体一切特性的遗传信息,它们指导合成各种不同的蛋白质,从而调控生物体的各种生命活动。

我们知道,蛋白质是由氨基酸组成的。每三个脱氧核苷酸对应一种氨基酸,如 ATG 所对应的氨基酸是甲硫氨酸,TTT 所对应的氨基酸是苯丙氨酸,ACT 所对应的氨基酸是苏氨酸,ATT 所对应的氨基酸是异亮氨酸……这就是所谓的遗传密码。那么,为什么是三个脱氧核苷酸决定一个氨基酸呢?这涉及数学的排列组合知识。一共只有 4 种脱氧核苷酸,如果任意两个脱氧核苷酸决定一种氨基酸的话,那么氨基酸的种类最多只有 $4 \times 4 = 16$ 种。而事实上,在自然界中一共有 20 种天然的氨基酸,那么只能是由三个脱氧核苷酸决定一种氨基酸了,这就是三联体密码子的由来。聪明的读者一定要问了,既然是三个脱氧核苷酸决定一种氨基酸,那么就该有 64 种氨基酸。事实上,64 个三联体密码子中有 3 种终止密码子(UAA、UAG、UGA),又称无义密码子,它们是蛋白质合成的终止信号,并不对应任何一种氨基酸。余下的 61 个密码子分配给 20 种氨基酸,就出现了多个密码子编码同一种氨基酸的情况,比如,亮氨酸和丝氨酸均有 6 个密码子,这就是密码子的简并性。1967 年,马歇尔·尼伦伯格(Marshall Nirenberg)和哈尔戈宾德·科拉纳(Har Gobind Khorana)等科学家经过六年时间的大量实验,最终搞清了基因以核苷酸三联体为一组编码氨基酸,并破译了全部 64 个遗传密码。从此,核酸密码和蛋白质合成之间的纽带便建立起来了。

RNA 即核糖核酸,是 DNA 这个“指挥官”的“命令”的传达者,所以,遗



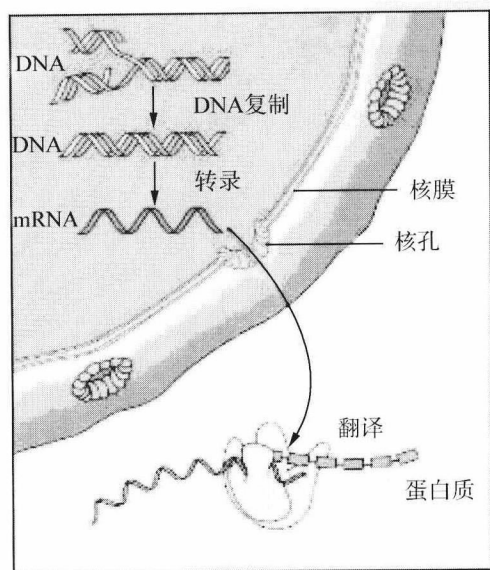
传信息都是由 DNA 通过 RNA 传递给蛋白质的。RNA 分为三类,信使 RNA(message RNA,简称 mRNA)、核糖体 RNA(ribosome RNA,简称 rRNA)和转运 RNA(transfer RNA,简称 tRNA)。mRNA 的角色是“邮递员”,它将 DNA 长链上储存的一段遗传信息“复录”下来,运出细胞核外,送至一种名叫核糖体的蛋白质合成工厂中(rRNA 参与核糖体结构的组装);而 tRNA 则起着“搬运工”的作用,根据 mRNA 上遗传密码子的顺序,将对应的氨基酸一个一个搬运到核糖体中。这些氨基酸相互连接,形成具有复杂空间结构的大分子物质——蛋白质。就这样,遗传信息终于成功地由 DNA 转移到了 RNA(这个过程称为转录),再由 RNA 转移到了蛋白质中(这个过程称为翻译)。在这个过程中,3 种 RNA 分别担任着不同的角色,在它们的通力合作下,中心法则在生命体中周而复始地循环着。可以说, RNA 是 DNA 和蛋白质之间的桥梁,如果没有 RNA,遗传信息会因为缺乏表达方式而毫无意义。

在蛋白质的合成工厂核糖体内, RNA 合成蛋白质的工作效率极其惊人,每分钟最多可以连接 1 500 个氨基酸。随着核糖体在 mRNA 上滑动,已合成的蛋白质逐步被释放出来。

因此,所谓中心法则就是:遗传信息从 DNA 传递给 RNA,再从 RNA 传递给蛋白质的转录和翻译过程,以及 DNA 的复制过程。

然而,随着人类对生命本质研究的深入,人们开始意识到事实远非如此简单。伴随着逆转录现象的发现,中心法则受到了极大的挑战。20 世纪 60 年代,美国病毒学家霍华德·提明(Howard Temin, 1934—1994)和大卫·巴尔的摩(David Baltimore)通过对劳氏肉瘤病毒的研究,揭示了生物遗传信息由 RNA 到 DNA 的过程,并且分离鉴定出了介导这种现象的逆转录酶。这一发现发展和完善了中心法则。值得一提的是,巴尔的摩的华裔夫人黄诗厚博士也为此作出了巨大的贡献。当巴尔的摩在麻省理工学院进行癌症研究寻找逆转录酶遇到困难时,当时正从事病毒学研究的黄诗厚发现,在某些 RNA 病毒的蛋白质外壳中带有“转录酶”,这个发现使巴尔的摩茅塞顿开。果然,他在 RNA 肿瘤病毒的蛋白质外壳中找到了逆转录酶。由于巴尔的摩和提明的杰出贡献,他们于 1975 年获得了诺贝尔生理学和医学奖。

中心法则乃是所有具有细胞结构的生物共同遵循的法则。某些病毒 RNA 自我复制(如烟草花叶病毒),某些病毒以 RNA 为模板逆转录成 DNA,这些都是对中心法则的补充和完善。或许我们可以这么说,细



细胞内的遗传信息传递图

细胞的遗传物质是 DNA, 某些病毒的遗传物质是 RNA。也许大家对前几年在全球引起恐慌的 SARS 风暴还记忆犹新, SARS 病毒就是一种逆转录病毒。这类病毒的自我复制和逆转录必须通过侵入到寄主细胞中才能实现。在病毒的感染周期中, 单链的 RNA 在逆转录酶的作用下反转录为单链的 DNA, 然后再以单链 DNA 为模板生成双链 DNA。双链 DNA 可以成为宿主细胞基因组的一部分, 并同宿主细胞的基因组一起传递给子细胞。

逆转录现象证明了遗传信息并不仅仅是从 DNA 流向 RNA, RNA 携带的遗传信息也同样可以流向 DNA。既然 DNA 和 RNA 之间的信息传递是双向的, 那么在 RNA 与蛋白质之间是否也存在这样的关系呢? 迄今为止, 科学界还没有证据证明存在着从蛋白质到 RNA 这样的遗传信息传递方向。

但是, 朊粒(Prion)的发现又使人们对中心法则有了新的认识。朊粒是引起羊瘙痒症的罪魁祸首。早在 200 多年前, 人们就发现了这种病。但是, 科学家对这种病的本质认识却并不很久。这是一种慢性神经系统疾病, 它与几年前在英国流行的疯牛病、库鲁病(Kuru)以及 Creutzfeldt-Jacob 病(简称 CJD)等疾病一样, 都是由一种名叫朊粒的病原体引起的。1935 年, 法国研究人员发现这种病在羊群中疯狂地传播, 于是推测, 这种病原体能在

