

现代科学丛书



山西科学技术出版社

赵立平 编著

基因与生命的本质



· 现代科学理论丛书 ·

基因与生命的本质

赵立平 编著

山西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

基因与生命的本质/赵立平编著. - 太原:山西科学技术出版社,2000.2

(现代科学理论丛书)

ISBN 7-5377-1653-6

I. 基… II. 赵… III. ①基因-理论②遗传学 IV. Q3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 66886 号

· 现代科学理论丛书 ·

基因与生命的本质

赵立平 编著

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)

山西省新华书店经销 山西人民印刷厂印刷

★

开本:850×1168 1/32 印张:6.875 字数:165 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月山西第 1 次印刷

印数:1-3 000 册

★

ISBN 7-5377-1653-6

Q·2 定价:9.80 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印厂联系调换。

前 言

“21 世纪是生物学的世纪”，这是许多人的共识。为什么人们对生物学会是如此高的评价与期望？这是与 20 世纪生物学突飞猛进的发展分不开的。

20 世纪生物学最重要的进展是从分子水平上对基因取得了全面的认识。近些年来，报纸、杂志、电视等各种大众传播媒介上有关基因的内容比比皆是，“基因”这个词对大众已经不陌生了。但是究竟什么是“基因”？“基因”是如何决定人的生老病死的？我们在日常生活中遇到的各种问题有多少可以用基因来解释？生物学究竟发展到了什么程度，可以给人类解决什么难题，对每个人会产生什么影响？对这些问题，大多数人却还知之甚少。

20 世纪生物学的发展史就是对基因的认识不断深化的历史，也是利用这种知识为人类造福的能力不断增强的历史，也是对这种知识的滥用给人类带来潜在威胁越来越大的历史。这种历史趋势在 21 世纪会以更快的速度继续发展。

1900 年孟德尔遗传定律被重新发现标志着人类对基因的认识开始有了实质性突破。孟德尔认为生物的每一种特性都有一个因子控制着，这个因子从父母传递给后代，就可以使生物的各种特性世代相传。换句话说，孩子之所以像父母是因为他们从父母双方分别得到这些“因子”的结果。这些因子当时被称为孟德尔因子，也就是现在我们所说的基因。

从 1910 年开始，以摩尔根为领袖的学派把孟德尔因子即基因作为物理实体进行研究。他们的工作使人类认识到，基因位于

细胞核内的一种叫“染色体”的物体上,呈线性排列。

1945 年, Avery 等人找到了能够使没有致病性的肺炎双球菌转变成可以致病的肺炎双球菌的化学物质——DNA。从此之后,人类开始认识到基因就是一段 DNA 分子。

1953 年, Watson 和 Crick 两人建立了 DNA 的双螺旋结构模型,并且据此推导出了 DNA 分子的复制机制。在随后的 20 年时间里,人类认识到基因是通过指导蛋白质的合成来决定生物的特性的,并且破译了遗传密码,基本阐明了蛋白质合成的分子机制。

1973 年, Boyer 和 Cohen 领导的研究小组在试管里把两种细菌的 DNA 分子拼接到一起,然后转移回细菌中,结果得到一个兼有两种细菌特性的新细菌。这个工作标志着人类按照自己的意愿定向改造生物的时代开始,基因工程作为一个新兴高技术学科进入蓬勃发展的阶段,以基因工程为基础的生物技术产业也迅速发展成为一个重要的产业领域。

1984 年,在美国犹他州阿尔塔召开的一次学术讨论会上首次提出了测定人的全部基因序列的设想。

1990 年,美国的“人类基因组计划”正式启动,一场生物学史上前所未有的浩大的科学研究工程开始了。本来计划用 15 年时间、花 30 亿美元把人类基因组的全部 DNA 序列测定出来,由于技术进步的速度之快超出人们的想像,预计 2000 年第一部人类的全基因组序列的“草稿”就可以完成。

2003 年,也就是基因的分子结构模型——DNA 双螺旋模型建立 50 年后,人类全基因组序列的测定就会完成,这标志着所有控制人类生命活动的信息指令将被破译。生物学的研究也从对单个基因结构和功能的认识,进入到对一个生物的全部基因进行研究的“基因组学”时代。以基因组学理论和技术为基础的一个新产业——生命科学产业正在迅速发展,并将成为 21 世纪经济增长的强劲动力。

基因学说已经开始全面而深入地改变人类生活的几乎所有领域。它既给人类带来前所未有的福音,也给人类提出了闻所未闻的问题。所有这一切都正以排山倒海之势向我们扑来,可以毫不夸张地说,每一个人都不得不面对基因给我们带来的问题与选择。

我们编的这本书就是为每个关心自己命运的人准备的。希望它可以使你获得基因与生命关系的基本知识,在帮助解决自己生活中需要面对的各种难题时尽一点绵薄之力。也希望它使你能够在影响人类命运的抉择面前尽到一份自己的职责。

对于那些非生物专业的学子,如果他们有志于投身生物学研究,希望这本小书能够成为他们步入生命科学殿堂的垫脚石。

1998 年上半年,我给山西大学'96 级同学开设了公共选修课“基因工程与人类的未来”。这门课有 400 多名同学选修。在短短 40 个学时的课堂上,同学们就提出了将近 1 000 个关于生物学的问题,这种学习热情一直感染和激励着我。他们的这种强烈的学习愿望是鼓励我编写本书的重要动力。

我的助手申泉在本书插图的修订上花费了大量的心血和时间,他的耐心、细致令我十分感动。

本书是在参阅了大量优秀的国外教科书、科普文章和原始研究论文的基础上编写的。如果本书能有任何一点成功之处的话,首先应该归功于所有这些参考资料的作者和编者。

最后我衷心感谢本书的读者,你们是本书的受益者,也是本书的批判者,希望听到来自你们的呼声。

作者的电子邮件地址:Liping @ sxu. edu. cn

赵立平
于山西大学

目 录

第一章 生物学与人类的未来	(1)
第一节 生命的本质是遗传信息的流动	(1)
第二节 20 世纪生物学的发展史是一部学科交叉 融合的历史	(6)
第三节 生物学发展给人类提出的哲学与伦理学问题.....	(9)
第二章 基因学说的发展——遗传的本质是信息的传递 ...	(15)
第一节 20 世纪以前的遗传学——自然发生说与 预成论	(15)
第二节 孟德尔遗传规律	(21)
第三节 摩尔根学派与染色体遗传理论	(28)
第四节 比德尔的“一个基因一个酶”假说	(39)
第三章 基因的化学本质——遗传信息的储存与复制	(47)
第一节 遗传物质的概念	(47)
第二节 肺炎双球菌的转化实验	(51)
第三节 T4 噬菌体的标记实验	(56)
第四节 烟草花叶病毒的重装配实验	(57)
第五节 “四核苷酸假说”与沙卡夫规则	(59)
第六节 Watson - Crick 的 DNA 双螺旋结构模型	(62)
第七节 DNA 的半保留复制模型	(69)
第八节 从 DNA 到染色体——DNA 在细胞里的包装 ...	(75)

第四章 从基因到性状——遗传信息的流动与表达	(78)
第一节 遗传信息的流动方向	(80)
第二节 信使 RNA 的发现	(83)
第三节 遗传密码的破译	(86)
第四节 遗传密码子的特点	(91)
第五节 基因转录的机理	(97)
第六节 基因翻译——蛋白质的合成机理	(102)
第七节 基因表达的分子调控——乳糖操纵子模型	(108)
第八节 基因控制性状实例	(114)
第五章 基因工程——遗传信息的人工重组	(120)
第一节 第一个重组 DNA 分子的诞生	(121)
第二节 基因工程的技术原理	(132)
第三节 基因工程的应用	(145)
第四节 细胞全能性与体细胞克隆	(156)
第五节 遗传疾病与基因疗法	(162)
第六节 DNA 的指纹图与基因诊断	(169)
第六章 人类基因组计划与基因组学——遗传信息的全面解读	(180)
第一节 基因与基因组	(180)
第二节 基因组作图	(186)
第三节 DNA 序列测定	(191)
第四节 生物信息学与计算生物学	(199)
第五节 人类基因组计划提出的伦理学、法学和社会学问题	(203)
第六节 基因组学与人类的未来	(205)

第一章 生物学与人类的未来

生物学是与人类关系最为直接、最为密切的学科，探索生命的规律是人类生存的需要。生物学的发展会影响到每个人的生存与生活，会直接影响人类社会的组织结构，影响人类的社会行为，影响人际关系的结构与性质，将改变地球上生物进化的方式与速度。对生物学难题的探索和研究成为多学科交叉与融合的根本动力，生物学的发展带动了相关学科的发展，刺激相关学科发展新的技术和理论。随着人类对基因认识的全面深入，一个新兴的产业——“生命科学产业”正在形成，它将成为 21 世纪世界经济发展的火车头。

生命的本质特征是遗传和变异，因此生物学的核心是遗传学。20 世纪生物学的最高成就集中体现在分子生物学中，而分子生物学的核心又是分子遗传学。分子遗传学是研究遗传信息在分子水平的储存、复制、传递、表达、重组、突变等规律的科学。基因是遗传信息的基本单位，对基因结构与功能的认识是 20 世纪整个人类科学的重大突破。

第一节 生命的本质是遗传信息的流动

生命的本质是遗传信息的流动。基因是遗传信息的基本单位。生命活动是遗传信息储存、加工、传递、表达的过程。生物体是一个有组织的信息系统，是遗传信息体系及其解释的系统。生物体内物质与能量的流动、转化是在遗传信息的指导下进行

的。总而言之，生物体出生与成长的过程就是遗传信息展开与表达的过程。

虽然我们对各种生命现象非常熟悉，但如果问大家什么是生命，可能会得到五花八门的回答。有人会说生命在于运动，因此，生命是能够运动的物体。的确，大量的生物具有明显的运动特征，我们人类几乎每时每刻都在不停地运动着，白天要奔跑行走，起立坐下，晚上睡在床上也要不停地翻身。但是，也有大量的生物如珊瑚等动物和多数植物是终生在原地不动的。而天上的白云不停地运动着，但它们不具有生命。因此，“运动性”既不是生命的必要条件，也不是生命的充分条件。

我们在受到不同的环境条件刺激后会做出相应的反应，这是许多生物具有的特性，因此，“敏感性”是生命的重要特征。但是，并不是所有的刺激都能引起所有生物的反应，对同样的刺激，不同生物做出的反应也不相同。

多数生物具有“发育”的特性，所谓发育就是一种在形态和特化程度上有序的渐变过程。人从一个受精卵逐步发育成一个胚胎，然后成为一个胎儿，出生后继续发育，最后成为一个成年个体。如果没有发育，生物只是一团面目相同、毫无生气的细胞而已。但并不是所有的生物都具有发育的过程，单细胞的生物如许多细菌和最简单的生物——病毒就不经历从简单到复杂的发育过程，有些无生命的物体如地球的岩层也会经历有序的发育过程。这说明发育也不是区别生物和非生物的界限。

生物本身是非常复杂的，就连最简单的生物如细菌和病毒其“复杂性”也是令人难以想像的，一个单细胞的细菌由成千种不同的分子构成，体内进行着数以千计的化学反应。但是，复杂的物体并不一定有生命。

所有的生物都要死亡，但是，如果不能给生命下一个确切的定义，死亡的含义也是无法说清的。因此，用死亡给生命下定义

同样是毫无意义的。

运动性、敏感性、复杂性以及发育和死亡都是可以在生物界见到的特性，但是这些特性还不足以给生命下定义。那么，究竟哪些特征是构成生命所必需的呢？目前得到公认的生命的基本特征有五个。

1. 细胞组成：所有的生物都是由细胞构成的，简单的生物只有一个细胞，复杂的高级生物如人体有 10 万亿个细胞。

2. 新陈代谢：所有的生物都要与外界交换物质和能量来进行生长，称为新陈代谢。

3. 种群繁殖：生物个体最终都要死亡，因此，生命要延续，生物就必须具有繁殖的能力，也就是生育后代的能力。

4. 体内平衡：生物都具有维持一种内部环境稳定及平衡的能力。如果把一个生物体磨成匀浆，虽然构成它的所有分子依然存在，但是，不能再称其为生命，因为这些分子失去了正确组织在一起维持体内环境平衡的结构特征。

5. 遗传变异：所有的生物都具有把自己的主要特征传递给后代的特性，所谓“种瓜得瓜，种豆得豆”，也就是遗传。后代与父母，后代相互之间都会有不同之处，所谓“一母生九子，九子各有别”的现象就是变异。遗传和变异是生命最本质的特征，只有这个特征是所有生物都具有的。例如，病毒不具有细胞结构，也没有自己的新陈代谢活动，但它们可以遗传和变异，因此，病毒应该是有生命的。

在生物的遗传和变异的矛盾中，生物的遗传特性是问题的主要方面。一种生物必须能够把主要特征稳定地传给后代，才能维持物种的存在，如果总是大幅度地发生变异，物种就不存在了。因此，遗传是物种存在的前提，而变异则是物种进化的动力。

父母是如何把自己的基本特征传递给后代的？为什么孩子与父母的基本特征相似，但又有各自独有的特点？这些问题自人类

开始有意识地探索自然奥秘以来就在孜孜不倦地寻求其答案。

以 1900 年孟德尔遗传规律的重新发现为标志，人类对生物遗传的本质认识取得了重大突破。种种科学证据表明，父母不是直接按照自己的身体模版构造一个身体传给后代，而是把后代身体应该如何构建和如何运行的“一整套指令”传递给后代，后代就是在这套指令的指导下从一个细胞逐步发育成一个新的个体的。这种由父母传递给后代，指导后代身体发育和成长的全部指令就是“遗传信息”。

任何信息都是记录在某种载体之中的。遗传信息的载体是什么？1928 年英国科学家 Griffith 发现了肺炎双球菌转化现象，为寻找遗传信息的载体——遗传物质提供了实验模型。1944 年美国科学家 Avery 等人用实验方法找到了“遗传物质”，它是一种叫做脱氧核糖核酸（DNA）的线状的化学高分子。1953 年，年轻的物理学家 Crick 和遗传学家 Watson 建立了 DNA 的双螺旋结构模型。这标志着人类对遗传规律的认识进入了分子水平。在随后 20 年左右的时间里，以基因结构和功能研究为主要内容的分子遗传学取得了突破性的飞速发展。

任何信息都是以某种方式编码的，遗传信息也不例外。到 20 世纪 60 年代末，已经证明，遗传信息是通过 DNA 分子中 A, T, G, C 4 种碱基的排列顺序来编码的，换句话说，遗传信息是用 4 个“字母”写成的文本。

任何信息要发挥作用必须有一套解释、翻译和执行系统。遗传信息也不例外。遗传信息是以基因为基本单位的。基因是具有一定数目的碱基的 DNA 分子片段。按照 3 个碱基编码一个氨基酸的“三连密码子”，基因编码的是蛋白质的氨基酸序列。细胞里的蛋白质合成系统根据基因的碱基序列合成相应的蛋白质的氨基酸序列。每个蛋白质由于氨基酸序列的不同，因而具有不同的空间折叠形式，进而具有各自独特的生理功能。蛋白质是生命的

催化剂，在各种蛋白质催化剂的调节下细胞不断地分裂、分化，最后形成完整的、进行各种生命活动的生物体。蛋白质的合成系统是把基因所蕴涵的遗传信息转变成生物体的构造和运行特征的“解释和表达系统”。

1973 年，正好在 DNA 双螺旋结构发表 20 周年的时候，美国科学家 Boyer 和 Cohen 把两个不同来源的 DNA 分子人工拼接在一起后送回细胞，细胞获得了新增加的遗传信息所指导的性状。这个工作表明我们通过对 DNA 分子的裁剪、连接可以实现对遗传信息的“编辑”。这种人工定向改变基因的结构和种类组成的技术就是“基因工程”。改变了基因就可以改变生物的性状，这一“重组 DNA 技术”的诞生具有十分广阔的应用前景。因此，这项技术发表仅仅几个月，就有一位独具慧眼的风险投资专家投资支持 Boyer 研究用细菌生产人体蛋白质的试验，并在取得肯定的结果后，迅速注册成立了以重组 DNA 技术为基础生产药物的“遗传技术公司”。从此以后，生物工程作为一个新兴的高新技术产业开始蓬勃发展。

基因决定生物的性状，要理解生物的本质就必须研究生物的全部基因。人是最复杂的生物，要了解人的本质就必须把人的所有基因搞清楚。人的基因总数目在 8 万到 10 万个之间。编码人的全部遗传信息的 DNA 分子有 30 亿个碱基对，分子的总长度为 990mm。如此巨大的信息分子、如此巨大的信息蕴涵量要分析清楚谈何容易。但是，就在 1990 年，一个大胆的计划——人类基因组计划启动，目标就是要用 15 年时间把人的全部遗传信息解读出来，也就是把 30 亿个碱基对的排列顺序破译出来。这个国际性的大科学合作项目进展非常迅速，计划进度一再修改提前。到 2003 年，也就是 DNA 双螺旋结构模型提出 50 周年的时候，人类基因组计划将提前完成，人类的全部遗传信息将被分析出来并供全人类分享、使用。

从 1953 年 DNA 结构模型的发表到 2003 年人类基因组序列的全部破译, 人类对生物遗传规律的认识取得全面突破, 不仅认识到生命活动就是遗传信息流动、表达的结果, 而且建立了通过改变 DNA 的结构对基因蕴涵的遗传信息进行编辑、改造从而创造新的生物体的技术。人类基因组计划的完成使生物学进入“基因组学”的时代, 从研究单个基因的结构和功能进入对生物所有基因结构、功能及其协调表达的研究阶段, 对生物利用也从操作单个基因的“生物工程产业”时代开始进入操纵、利用生物基因组的“生命科学产业”时代。

第二节 20 世纪生物学的发展史是一部 学科交叉融合的历史

20 世纪人类对生命的认识进入了分子水平, 认识到遗传信息在生命活动中的核心地位; 与 19 世纪末 20 世纪初的物理学所面临的状况相似, 20 世纪初的生物学在遗传物质序列-结构-功能方面尚未提出全新的统一理论来解释生命的根本规律, 生物学孕育着重大理论突破; 生物学的发展推动着数学、物理、化学、计算机、电子学等学科的融合, 也推动着人文社会科学与自然科学的融合, 科学大一统的局面就从这里开始形成。

与物理、化学等学科相比, 长期以来生物科学的发展是相对缓慢的, 一直到 20 世纪 20~30 年代时, 它仍处在描述性学科的阶段, 以经验知识为主, 理性知识为辅, 整体上没有成为一门理性的科学。有人甚至过激地认为生物学不能算一门科学, 因为它的规律不能用数学来进行抽象和概括。

科学的探索与研究最初是以非生命事物、物理实体和物理现象为对象的, 因此, 数学、物理、化学得到快速发展。生物学则在很长一段时期里处于描述性科学的阶段, 这是因为生命现象的

复杂使得人类不得不等到数理化等基础学科发展到相当的高度后才在对生命的理解上取得突破。分子生物学诞生于量子论发展成熟后的 20 世纪 50 年代, DNA 的双螺旋结构模型被物理学家和遗传学家联合突破, 决不是偶然的。

以分子生物学的诞生为标志, 生物科学成为一门理性的科学, 而且, 在生物学研究的带动下, 现代科学发生了两次大规模的交叉和融合, 结果对人类的科学、文化、经济、政治、生活的各个方面产生了深刻而广泛的影响。

现代科学的第一次大融合开始于 20 世纪 40 年代, 并且以遗传物质 DNA 的双螺旋结构的阐明为标志进入高潮, 现在依然是方兴未艾, 处于蓬勃发展之中。这次科学的融合主要发生在自然科学的不同学科之间, 以化学、物理学、数学、计算机科学、电子工程学等学科同生物学的融合为主。

第一次融合的结果, 诞生了分子生物学这一理论学科, 使人类对生物的认识上升到了理性的高度, 生物学的发展进入了一个突飞猛进的时期。按照科学技术的发展规律, 理论学科发展到了一定的程度, 必然会催生出相应的技术学科, 并且在经济发展中发挥作用。因此, 随着分子生物学学科的发展和完善, 在它的基础上衍生出了生物技术这一高新技术学科, 随着生物技术在生产领域的应用, 出现了生物工程高新技术产业, 极大地影响和推动着经济和社会的发展。毫不夸张地说, 生物技术对人类社会影响的广度和深度决不亚于微电子技术。每个人在自己的学习、工作和生活中迟早都会对生物技术的存在和作用产生切身感受, 就像现在每个人都会感受到微电子技术的存在和作用一样。

到 20 世纪 80 年代后半期, 以人类基因组计划的提出和开始实施为标志, 出现了现代科学第二次大融合的浪潮。这次融合的深度和广泛程度远远超过第一次大融合, 它是自然科学与人文社会科学之间的交叉与融合。

人类基因组计划是在美国能源部和国立卫生研究院的倡议、组织和推动下于 1990 年正式启动的。该计划投资 30 亿美元,用 15 年时间,对人类基因组的全部 30 亿个碱基对进行测序,对大约 8~10 万个人类基因进行定位和功能研究,同时还要对小鼠、拟南芥菜、线虫、酵母、大肠杆菌等模式生物的基因组进行全序列测定和基因的鉴定。

这项计划的完成将使人类对生命的认识从根本上取得突破,其科学意义和应用前景不可限量。①通过寻找基因与性状的关系,可以找到遗传病、肥胖、耳聋、心脏病、癌症等疾病的相关基因,从而为其诊断和治疗提供全新的技术。对与认知、记忆、思维、行为等有关基因的认识,可以对人类精神疾病进行改善和控制,也有助于开发人类智力,提高教育效果。②DNA 测序技术的发展促进了多种技术学科的集成,催生了许多高新技术,例如 DNA 芯片、单分子光谱技术等等。③该计划的进展催化产生了新的学科,例如基因组学、功能基因组学、环境基因组学、生物信息学、遗传语言学,这都是数学、计算机、非线性物理、化学、电子学、语言学等学科与生物学交叉融合的结果。

人类基因组计划的实施使自然科学与社会科学、人文科学之间的分界线和似乎不可逾越的鸿沟开始模糊,开始沟通。这种趋势在下列领域表现最为突出。

1. 脑科学与认知科学。主要是研究人类思维与认知行为的生物分子基础。例如,利用基因剔除技术和转移技术,研究去除某一基因或增加某一基因后脑功能和认知行为的变化,探讨基因与思维的关系;用先进的仪器如核磁共振成像技术,研究认知活动在大脑中的区域分工,如图像记忆与方位记忆的区域分工,然后探讨基因表达与各个区域功能的关系。这些研究将会逐步揭示人类社会行为的生物学基础。

2. 进化生物学、社会生物学、进化心理学、进化人类学等学

科。利用自然选择及生物进化的观点，寻求人类社会行为的起源，同时考虑人类的文化环境对基因进化的影响。基因与文化是协同进化的。人是一个生物物种，也是一个文化的物种，既有生物性的一面，也有社会性的一面。人类是处在不断进化之中的，生物的一面在进化，文化的一面也在进化。

认识人类的本质，核心问题是认识遗传进化与文化进化之间的关系。我们都知道，生物的特性是遗传来的，而所有的文化都是学习来的，但是，文化的形式与传递方式要受到生物学特性的影响；反过来，控制人类行为的基因是在文化环境里进化的。所以，只有通过人文社会科学和自然科学的协同努力，才能对人的本质有突破性的认识。人文社会科学与自然科学这两大科学体系之间就在研究基因与文化协同进化的问题上开始重叠、交叉、融合、拥抱。

分子生物学研究向人文社会科学的渗透，带动了现代科学的第二次大融合，促使人们对人类的本质从全新的角度进行认识，也使人们对人的生物性和社会性之间的关系重新加以思考。第二次融合才刚刚开始，其意义和影响是不可估量的。

20 世纪生物科学的发展史就是一部科学交叉、融合的历史，可以说，科学的交叉与融合促进了分子生物学的诞生与发展，而分子生物学的发展又进一步带动了现代科学在更加广阔的范围内的交叉与融合，甚至可以说，在分子生物学的带动下，人类的全部科学知识正在开始走向全面的交汇，最终将成为一门统一的大科学。

第三节 生物学发展给人类提出的 哲学与伦理学问题

人类对基因结构和功能的认识的突破以及操纵和改变基因创