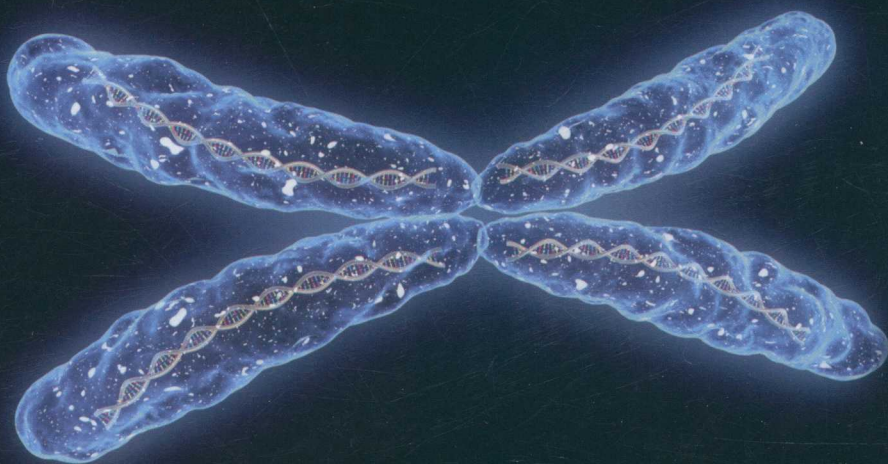


Story of
Gene Changes

基因变迁史

王友华 蔡晶晶 唐巧玲 董雪妮 著



科学出版社

基因变迁史

王友华 蔡晶晶 唐巧玲 董雪妮 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以基因为主线贯穿全文，分为四章。从解读基因和基因变化类型入手，讲述了基因变迁在大自然中各种生物体的生命过程中所起到的决定性作用，进一步描绘了现代社会中人类利用生物技术、通过改造基因来获取新的生物体或者新产品的案例，最后展望了未来基因变迁将给人类带来的福祉。

本书适合科学工作者及喜爱科学的普通公众阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基因变迁史 / 王友华等著. —北京：科学出版社，2018.3

ISBN 978-7-03-035246-0

I. ①基… II. ①王… III. ①基因-变迁-研究 IV. ①Q343.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第032987号

责任编辑：李 迪 / 责任校对：王萌萌

责任印制：肖 兴 / 封面设计：北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京画中画印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2018年3月第一次印刷 印张：10 1/2

字数：147 000

定价：68.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

讲好科学的故事

这本书是我认识的几个年轻人写的。我很高兴看到这本书中展现出他们对生命科学的兴趣与思考。他们在本书中试图用一个个故事描述出基因的变化所带来的丰富多彩的生命世界。

说到“基因”，一般人恐怕都是知其然不知其所以然，即使是有生物学专业背景的人也不可能了解得面面俱到，“基因”的神秘给人们带来两种截然不同的认知感受：一方面觉得有关“基因”的研究和发现都高大深奥，代表着科学的高境界；另一方面又觉得“基因”不可控而惧怕它，影视作品中就常常出现科学怪人与基因灾难。近年来对“转基因”的热议与担忧也体现出这种不信任和恐惧。

在科学工作者眼里，生命世界是神秘而富有挑战的，需要去揭开、去了解的生命机制太多，了解这一过程，如何利用它造福人类自身是最富创造力的工作。但同时，在科学工作者眼里，生命世界又是最不神秘的，因为无论什么样的生物，高等的还是低等的，单细胞的还是多细胞的，植物还是动物，水生的还是陆生的……它们的发生发展都遵循相同的原理，存在共同的化学基础，最终在本质上都可以归因于基因的变化。

在地球的46亿年发展历程中，生命从无到有，从少到多，最终到智慧生命——人类出现，人从被动适应自然，到主动改造自然，影响了整个地球的生态。人的创造力并非上帝造物，而是建立科学的体系研究生态系统中的一切生命再为我所用。所以自然界中那些“天然”的发生和人类为了自己生存与发展而进行的“人工”的创造，实际上并没有本质的区别。

希望更多的人能看看这本书，从这些讲述基因变化的科学小故事中，多了解一点生命科学，为一个个科学发现点赞，爱科学，学科学，弘扬科学精神。

在基因变迁中探索生命的奥秘

在 45 亿至 35 亿年前，地球上出现了最原始的生命迹象。原始生命非常简单，它们只是一些生物大分子物质的聚集，由量变发展到质变，出现了自我复制和繁殖现象。随着进化发展，从单细胞到多细胞，从海洋到陆地，从微生物到动物、植物，大自然出现了一批又一批的新生命，多元化生物体不断涌现出来，宇宙万物开始丰富起来。除了一些特例外，所有的生命体都有一种相同的遗传物质，这就是基因，而多样化的生命世界是由基因的变迁造就的。

面对绚丽多彩的自然界和生活中多样的生物体，人类一直在探索生命自身的奥秘。我们很好奇，生命是怎么出现的？是如何进化成今天我们所看到的样子？遗传信息“基因”在生命进化中又出现了哪些奇妙的变化？人类是如何借鉴基因的神奇变化来改变现代生活的，并且又会带来什么样的变化和不可估量的成就呢？科学家经过坚持不懈的探索与研究，终于弄清楚了其中的一些奥秘，基因作为生命最基本的遗传物质，它会发生变化，这些变化又会给生命体带来各种变化，了解和研究基因便成了我们认识这个大千世界最重要的工作。

走进基因，解读基因，就会发现基因的千变万化，我们知道，每种生物体的基因，无论从大小还是从种类来讲，都是各不相同的，并且随时都有可能发生变异，自然界存在各种类型的基因变异。自然界中的各类生命，无论动物、植物，还是微生物体内都存在遗传变异，这些变异会引入新的性状，让生命获得进化的动力，物种进化伴随着基因变迁，而基因变迁又推动了生物的不断进化与更新。

人类作为智慧生命，其创造性体现在发现了万物形形色色的外在表象之后，开始对其进行深入的思考和研究，运用现代生物技术对基因进行深入探索研究，使基因变迁为人类的生存和发展服务。科学家研制了抗虫棉，使棉花不再害怕棉铃虫；科学家培育了杂交水稻，解决了全球一半以上国家的粮食短缺问题；科学家种植出“蓝色妖姬”，

为生活带来梦幻的视觉享受；科学家利用动物、植物和微生物的生命体作为工厂，生产药物和各种生物活性物质；科学家甚至已经开始模拟创造新生命体……这一切都源于我们正在不断揭开的生命的奥秘。

在未来，基因变迁还会给人类带来更多的福祉，涉及农业、医药、工业、能源、环保等各领域，甚至使基因与电子信息接轨，带来神奇科幻般的世界。

本书为大家解读各式各样的基因变迁，讲述大自然中基因变迁的故事，描绘科学引导下进行的基因变迁，展望基因变迁为我们带来的未来发展。希望本书能带给读者了解生命奥秘的喜悦，以及进行科学探索的好奇。越了解基因，就越发现我们知道得还太少，但也越发知道基因并没有那么神秘，生命的奥秘需要我们不断去探索，我们不必惧怕科技给生活带来的变化，生物技术会让我们的生活越来越好！

著 者

2017年5月

序言

前言

第1章 生命的密码——基因	1
1. 解读基因	2
(1) 基因的发现	2
(2) 基因的解析	3
(3) 基因的分类	5
(4) 基因的特点	6
2. 遗传保障生命繁衍	7
(1) 物种的延续性	7
(2) 基因信息的稳定遗传	8
(3) DNA 修复巩固遗传的稳定性	10
3. 变迁推动生命进化	11
(1) 生命的起源	12
(2) 生命的进化	13
(3) 基因变迁与生命进化	14
(4) 基因变迁的类型	17
4. 人类定向改变基因创造新生物	27
(1) 杂交育种	27
(2) 人工诱变(辐照、激光等)	28
(3) 倍性育种	29
(4) 转基因	31
(5) 基因编辑	32
(6) 全基因组选择育种	34
(7) 克隆	35
(8) 人工合成基因	36

第2章 自然发生的基因变迁	39
1. 领鞭虫引领单细胞向多细胞的生命进化	40
2. 性别之分的关键基因	41
3. 萤火虫是夜晚的小精灵	43
4. 蝴蝶进化过程中的基因转移	45
5. 鲫鱼大变身成为水中小精灵金鱼	47
6. 特立独行的海马	49
7. 蜥蜴的断尾再生术	51
8. 鸟类的飞羽	52
9. 老鼠的毛色变化	53
10. 北极熊的适应性突变	55
11. 长颈鹿谜一样的进化	57
12. 特殊基因变异带来美驹白马	58
13. 从性情暴躁的野猫到温顺可人的家猫	60
14. 小型猪成为新宠物	62
15. 染色体重组诞生的新物种	63
16. 控制豌豆种子性状的基因开关	65
17. 红薯是最古老的天然转基因植物	66
18. 彩色马铃薯的奥秘	67
19. 番茄的驯化来自基因定向选择	69
20. 品种繁多的芸薹属植物	70
21. 水稻的起源与驯化	72
22. 矮化基因带来农业生产的“绿色革命”	74
23. 染色体组加倍造就小麦的进化	76
24. 基因微小变化形成现代玉米	78
25. 基因突变让玉米变甜	80
26. 跳动的基因带来彩色玉米	81
27. 吃荤的土瓶草	84
28. 能不能喝酒基因说了算	85

第3章 科学引导下的基因变迁	87
1. 倍性改变让你吃水果不吐籽	88
2. 转基因微生物开辟制药新天地	89
3. 人工辐照突变辨别雌雄家蚕	91
4. 发光蛋白质的新用途	92
5. 谁来替代蜘蛛吐丝?	94
6. 生物防治与转抗虫基因作物	96
7. 抗除草剂作物不必“锄禾日当午”	98
8. 抗病毒木瓜	101
9. 克隆技术的应用	102
10. 动物乳腺变成动物制药厂	104
11. “黄金大米”带来微营养大健康	106
12. 环保高效的转植酸酶基因玉米	108
13. 转基因蚊子以毒攻毒	110
14. 转基因给作物添“油水”	112
15. 基因技术创造绚丽多彩花卉世界	114
16. 让水稻来造血	116
17. 全基因组选择育种提高繁育率	118
18. 转基因三文鱼生长更快	120
19. 基因编辑防褐化	121
20. 菠萝也有少女心	123
21. 人工合成微生物问世	124
22. 两母一父三亲宝宝的诞生	126
23. DNA 修补基因使人类重见光明	128
第4章 基因变迁未来展望	131
1. 基因农业	132
(1) 种植业	132
(2) 畜牧业	134
(3) 功能农业	137

2. 基因工业 138

3. 基因医疗 141

 (1) 基因药物 141

 (2) 疾病治疗 143

 (3) 器官移植 146

4. 基因健康 147

5. 基因环保 151

6. 基因电子信息 153

7. 基因合成 156

第1章

生命的密码——基因

1. 解读基因

(1) 基因的发现

基因一词是英语“gene”的音译，有“开始”“生育”之意。它源于印欧语系，后变为拉丁语的 gM(氏族)及现代英语中 genus(种属)、genius(天才)、genial(生殖)等诸多词汇。遗传学上，基因又称为遗传因子，是具有遗传效应的 DNA 片段(部分病毒如烟草花叶病毒、HIV 的遗传物质是 RNA)，是控制生物性状的基本遗传单位。它储存着生命的种族、血型、孕育、生长、凋亡等过程的全部信息，可以说，生物体的生老病死、行为、性格和情绪等一切生命现象都与基因相关。基因发现和认识经历了漫长而艰辛的过程，不断深化，不断发现，才使得今天的人们能够站在科学的肩膀上探索更多未知的基因奥秘。

19 世纪 60 年代，奥地利学者孟德尔 (G. J. Mendel) 在种植豌豆的过程中，发现豌豆的形状、颜色等性状是可以传递给下一代的，而且这种传递具有规律性。孟德尔进行了 8 年的杂交试验，于 1866 年发表了《植物杂交试验》的论文，提出了生物的遗传单位是遗传因子的概念，也就是现代遗传学中基因的概念，并归纳出遗传学的两个基本规律，即基因的分离规律和自由组合规律，也被统称为孟德尔遗传规律。这两个规律的发现和提出成为后来遗传学诞生与发展的重要基础。在这篇论文中，孟德尔使用字母表示控制性状的遗传因子，大写字母代表显性性状基因，相同的小写字母则代表对应的隐性性状基因，这种用符号表示基因的方式一直沿用至今。

到 20 世纪初，研究者发现许多动植物的遗传都符合孟德尔定律。1909 年，丹麦学者约翰森 (W. L. Johansen) 最早提出了“基因”这一名词，并定义为在生物中控制性状，且遗传规律符合孟德尔遗传定律的遗传因子。进而他又提出了基因型和表现型的概念，分别对应基因及其表现的性状。

1910 年，美国遗传学家兼胚胎学家摩尔根 (T. H. Morgan) 在实验中偶然发现了一只白眼雄果蝇，将它与另一只红眼雌果蝇进行交

配,发现下一代的果蝇全部是红眼。但是如果是白眼雌果蝇与正常的红眼雄果蝇交配,后代中雄果蝇全部是白眼,雌果蝇全部是正常的红眼。这一实验现象并不符合经典的孟德尔定律。摩尔根认为白色复眼(white eye, WE)是突变型,说明基因可以发生突变。除了复眼颜色这一性状,1911年摩尔根又发现了果蝇中与性别连锁的长翅、短翅这一对性状,X连锁基因白眼和短翅两个品系的杂交后代中,既出现了白眼短翅果蝇,也有正常的红眼长翅果蝇。根据果蝇的杂交实验,摩尔根认为基因在染色体上以直线方式排列,并提出了遗传学的第三个基本规律——基因的连锁和交换规律,与孟德尔定律统称为经典“遗传学三定律”。

早期对基因的描述都是概念性的,很长时间都认为基因是进行交换、重组和突变的最小遗传单位,随着科学的进步与技术的发展,科学家展开了对基因的深度探究,逐渐揭开了基因的物理、化学性质及其结构,对遗传的认识不断深入。

(2) 基因的解析

基因的化学本质:核酸分子。20世纪初期,人们发现了基因的存在之后,对于其化学本质尚不了解。这时,英国科学家格里菲斯(F. Griffith)在肺炎双球菌中发现了一个非常奇怪的现象。他将用高温杀死的S型有毒细菌同活的R型无毒细菌混合起来,注射到实验老鼠体内。正常情况下,有毒的细菌已被杀死,活的细菌又无毒,老鼠不会得病,但出乎意料的是,有些老鼠竟病死了。于是,格里菲斯对老鼠进行解剖、化验,结果发现,死老鼠血液中有许多活性的S型有毒肺炎双球菌。这些神出鬼没的毒病菌是从哪里来的?为什么死菌能复活?为什么无毒的R型活菌能转变成有毒的S型活菌?格里菲斯认为,加热杀死的致病性S型菌中,一定有一种物质可以进入不致病的R型菌,从而改变R型菌的遗传性状,使其变成S型的致病双球菌。他的这种推测直到1944年由美国科学家艾弗里(O. T. Avery)等通过实验才揭开其中的奥秘。他们从有荚膜的S型细菌中分离出一种被称为“转化因子”的物质,将这种物质加入培养无荚膜的R型细菌的培养基中,奇怪的是无荚膜的R型细菌经培养出来以后,竟

长出了荚膜，而它的后代也有了荚膜。经化学成分分析证明，这种“转化因子”就是脱氧核糖核酸，即 DNA。这是生物学史上第一次用实验的方法证明了核酸是遗传物质，是基因的组成成分，这一发现使遗传学的研究进入了一个新阶段。

基因的空间结构：DNA 双螺旋结构。1953 年，美国科学家沃森 (J. D. Watson) 和英国科学家克里克 (F. H. C. Crick) 在英国杂志《自然》(Nature) 上公开了他们的 DNA 模型，正式提出 DNA 双螺旋结构。他们认为双螺旋由两条糖链骨架构成，而连接两条糖链的是碱基对，包含 4 种碱基，即鸟嘌呤 (G)、胸腺嘧啶 (T)、腺嘌呤 (A) 和胞嘧啶 (C)，它们像梯子一样连接着 DNA 的两条链，使整个分子环绕自身中轴形成一个双螺旋。DNA 双螺旋结构的提出开启了分子生物学时代，使遗传的研究深入到了分子层面，“生命之谜”被打开，人们进一步认识了基因的本质，即基因是具有遗传效应的 DNA 片段。每个 DNA 分子上包含多个基因，每个基因有成百上千个脱氧核苷酸。沃森和克里克由于提出了 DNA 双螺旋结构模型的学说，于 1962 年共同获得诺贝尔生理学或医学奖。

基因的精细结构：顺反子、突变子、重组子。基因的精细结构最早是由美国分子遗传学家本泽 (S. Benzer) 揭示的。1955 年，本泽在对大肠杆菌 T4 噬菌体的 rII 区基因进行研究时发现，如果在一个基因内部发生多个突变时，其顺式和反式结构的表型是不同的，由此提出了顺反子概念，即一个顺反子代表一个基因。一个顺反子内可以包含多个突变单位，即突变子。突变子间有距离，因此可以发生重组，也称为重组子。由此可见，基因并非是不可分割的最小遗传单位，基因内部不同位点也是可以发生突变、交换和重组的。基因精细结构的发现是对基因认识的一次显著的提升。

基因如何表达：密码子的发现。DNA 中蕴藏着遗传信息，生命过程是通过蛋白质发挥功能的，这之间的信息是如何传递的呢？1960 年，法国生物学家雅各布 (F. J. Yakebu) 和莫诺 (J. L. Monod) 提出了信使 RNA (mRNA) 的概念，通过实验证实了 mRNA 由 4 种不同碱基的核苷酸组成，分别是腺嘌呤 (A)、尿嘧啶 (U)、胞嘧啶 (C) 和鸟嘌呤 (G)。mRNA 的核苷酸序列与 DNA 序列相对应，将 DNA

的遗传信息传递到胞质中,这一过程被称为转录。4种碱基要决定20种氨基酸的排列,则最少需要由3个碱基组成的三联体决定一个氨基酸,而这个三联体就称为密码子。全部遗传密码在1967年被成功破译,从mRNA到蛋白质的信息传递过程被称为翻译过程。至此,终于在分子水平上揭开了DNA、mRNA和蛋白质间的关系,对基因的表达及遗传信息的传递有了最基本的了解。

基因如何行使功能:启动子的发现。基因是怎样行使功能的?基因是一段有功能的DNA序列,不同区域有着不同的作用,通过协同发挥出基因的功能。其中最重要的是启动子,它是后面整个基因群体行使功能的开关,只有当启动子存在且正常工作时,才能开启相关功能基因的工作。可以说,启动子是基因转录调控中最重要的部分。1969年,美国分子遗传学家夏皮罗(J. Shapiro)等从大肠杆菌中分离到了乳糖操纵子。乳糖操纵子包括调节基因、启动基因、操纵基因和结构基因,它们紧密连锁在一起形成整个操纵子,只有当这些基因相互结合,共同发挥作用,才能保障基因信息的正确流向,基因才能准确无误地去行使功能。

基因信息的探究:测序技术的发展。通常,人们将基因称为生命的密码,要深入了解基因,首先想到的就是了解基因的序列。1975年,桑格(F. Sanger)和考尔森(A. R. Coulson)建立了一种从头测序方法,这是第一代DNA测序技术,优点是准确率高、读取长,缺点是成本高、速度慢。随着技术的进步,很快出现了第二代、第三代测序技术,也被称为“新一代测序技术(NGS)”,如Roche公司的454测序平台、Illumina公司的Solexa测序系统及Applied Biosystems公司(ABI公司)的SOLID测序系统等,其最重要的特征是高通量、高速和低成本,大大加快了对基因功能的各项研究,使得基因研究的深度和广度都获得极大提升。可以说,基因测序技术的迅猛发展为人类研究生命奥秘带来了无限可能。

(3) 基因的分类

根据基因的表达情况,可以把基因分为以下三类。

编码蛋白质的基因。根据编码产物的功能又可分为结构基因和

调节基因两种。结构基因编码酶或者结构蛋白，真核细胞中的结构基因被内含子和外显子所分隔；原核细胞中则通常是连续的。结构基因突变时会引起蛋白质结构的改变，从而导致生物体代谢紊乱或形态异常。例如，当人血红蛋白的结构基因发生突变时，可能造成遗传性贫血症。调节基因编码激活或者阻遏结构基因转录的蛋白质，具有调节、控制结构基因表达的功能。调节基因突变会影响受它调节的一个或多个结构基因的表达。

RNA 基因。这类基因只有转录产物没有翻译产物，如转移核糖核酸 (tRNA) 基因和核糖体核酸 (rRNA) 基因。这类基因的特点是具有高度重复序列。

不转录 DNA 区段。主要包括启动子、操纵基因等，是 DNA 序列中具有特殊功能的区段，通常与基因的表达调控相关。例如，启动子区是 DNA 转录时结合 RNA 聚合酶的部位，操纵基因是与调节基因产物结合的部位。除此之外，现在还有大量非编码区域的功能未知。

(4) 基因的特点

基因可以通过复制遗传给后代，经过转录和翻译可以指导生命活动所需的各种蛋白质的合成。因此，基因主要有以下几个特点。

通过精确的复制进行遗传。基因复制是指基于碱基配对实现的，以 DNA 双链中的一条单链为模板，通过链延长反应，获得互补的单链，最终原来的一条双链变成两条一样的双链。复制的目的是保持生物的基本特征。例如，高等动物由大量细胞组成，这些细胞具有完全一样的 DNA 信息，而最初它们来自同一个受精卵，通过复制加倍，最后分裂成为 2 个、4 个、8 个……，就单个生命体来说，这个受精卵细胞便是全身细胞的始祖。

储存有巨大的遗传信息。除一部分病毒的遗传物质是 RNA 外，其余的病毒及全部具典型细胞结构的生物的遗传物质都是 DNA。DNA 是生物数据库，里面所包含的 4 种碱基，两两互补成对，它们储存着生物所有的遗传信息。DNA 中大量的遗传信息都是通过千变万化的碱基对排列实现的，储存着各种生物信息指令。

结构稳定。DNA 分子的双螺旋结构具有空间稳定性。双螺旋结

构中，DNA 双链是反向平行盘旋形成，链骨架由脱氧核糖和磷酸交替连接而成，内侧的碱基以氢键配对连接，这种结构非常稳定，相比 DNA，单链的 RNA 则很容易改变形态。

通过蛋白质合成形成丰富的生物性状。蛋白质是生命活动的体现者、承担者。基因通过控制蛋白质的合成，来控制生物的性状。脱氧核苷酸（碱基）的排列顺序蕴藏着丰富的遗传信息，不同的基因拥有不同的碱基序列，其指导合成的蛋白质也各不相同，通过调控最终形成丰富的生命形态。

2. 遗传保障生命繁衍

(1) 物种的延续性

生物体的亲代会复制与自己相同的物质并传递给子代，这一过程就是遗传信息的传递，我们把这种代代相传的物质称为遗传物质。俗语“种瓜得瓜，种豆得豆”“龙生龙，凤生凤，老鼠的儿子会打洞”，本质上都是对遗传现象的描述。这种遗传机制保持了物种的特性，并从上一代传至下一代。例如，人类的不同种族，在五官、肤色、头发等方面总是存在明显差异，很容易分辨出来，并且种族的特征在种族内部能得到延续。那么，支持这种神秘的遗传现象的物质基础是什么呢？它就是几乎所有生命体中普遍存在的物质——核酸，核酸通常不单独存在，而是和特殊的蛋白质一起组成了我们熟知的染色体。对于人类来说，每一个成熟细胞的核中含有 23 对染色体（或者 46 条染色体），人类的全部遗传信息都蕴藏在我们用肉眼无法直接看见的、微小的染色体中。

那么遗传物质是怎样准确无误传递的？在普通细胞或体细胞的分裂过程中，生物体通过一套完整的机制使核内的染色体复制出一套新的一模一样的染色体，其上的脱氧核苷酸排列顺序和结构与母细胞几乎完全一致，所以全部的遗传信息能正确地从一个细胞传递至另一个细胞。而生殖细胞的遗传信息传递方式稍有不同，如人类受精卵细胞中有 23 对染色体，其中一半即 23 条染色体来自父亲的精细胞，继承了来自父亲的遗传信息，另一半染色体（23 条）来自母亲的卵细胞，