

# 基因和基因工程

舒惠国 著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 基因和基因工程

舒惠国 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从基因的概念和基因学说、基因工程的诞生和发展、人类基因组计划、基因工程产业、基因经济、克隆六个方面进行了阐述,既反映了基因工程给人类带来的前所未有的福音,又提出了人类所面临的闻所未闻的问题。内容丰富生动、浅显易懂,是一本难得的科学普及读物,适合对生命科学感兴趣的广大读者。

### 图书在版编目(CIP)数据

基因和基因工程/舒惠国著. —北京:科学出版社,  
2003.4

ISBN 7-03-011282-2

I. 基… II. 舒… III. 基因-遗传工程 IV. Q78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 017719 号

责任编辑:姚平录 沈红芬 / 责任校对:曹锐军

责任印制:赵德静 / 封面设计:黄华斌

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003 年 4 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2003 年 4 月第一次印刷 印张:5 1/4

印数:1—3 000 字数:120 000

定价:12.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈兰各〉)

# 序 言

民以食为天,农业是最古老的产业,它伴随人类社会渡过了几千年自耕自食的自然经济时代,直到20世纪中叶才出现突破性进展。农业可以说是一个永不衰竭的产业,据有关统计资料分析,从20世纪初到1949年,世界粮食单产仅由每公顷930公斤提高到1000公斤,年平均增长1.4公斤,粮食产量的增长主要依靠扩大耕地面积。20世纪60年代,在达尔文杂种优势理论和孟德尔、摩尔根遗传学理论的推动下,国际水稻研究所、国际小麦玉米改良中心等科研机构相继在作物育种上取得了重大突破,无论是发达国家还是发展中国家,都通过推广矮秆高产水稻和小麦品种,增施化肥,增加灌溉,广泛使用农药防治病虫害和改进栽培措施,使本国的粮食产量大幅度提高。1949~1988年,世界粮食单产由每公顷1000公斤提高到2499公斤,平均年增长39公斤,是前50年年增长量的28倍。而我国后40年粮食单产年均增长量是前50年的43倍,比世界同期水平高出近一倍。这场包括我国杂交水稻研究取得突破性进展在内的、对世界尤其是发展中国家影响最为深远的农业革命,被称为农业发展史上的“绿色革命”。这场“绿色革命”不仅大大缓解了当时全

世界严重的粮食危机,而且还促进了世界各地经济的快速增长。

尽管发展中国家在“绿色革命”中取得了较为显著的成绩,但由于不适当地使用化肥、农药和水资源,给环境和自然资源带来不少问题,而且仍然没有解决农民文化科技素质差和社会化服务体系落后的两大障碍。正如高产“墨麦”的培育者、诺贝尔奖获得者诺曼·布劳格所说:“绿色革命并未阻止、而只是延缓了饥饿的到来,只是为农业科学家争取到一段喘息的时机。”迄今为止,全世界还有8亿人口没有解决温饱问题,他们仍然生活在贫困线以下。

20世纪70年代以来,现代生物技术的重要支柱——基因工程技术在世界范围内蓬勃兴起,为世界农业和粮食问题的最终解决展示了广阔的发展前景。专家指出,由于全球人口的压力增大和人口老龄化程度提高,通过基因工程来改良作物已成为发展的一个重要方向。最近几年,一些国家将转基因技术运用于农业,取得了很大的成绩。据统计资料表明,1983年首批转基因植物(烟草、马铃薯)问世,1986年首批转基因植物(抗虫和抗除草剂)进入田间试验,1993年美国 Calgene 公司的延熟保鲜转基因番茄被批准上市,1996年以后转基因作物产业化迅速发展。自第一个转基因作物进入大田试验至1999年4月,世界各国已累计批准了4987个转基因作物释放于田间,其中有47个转基因作物产品已进入市场。1999年转基因作物的种植面积已超过3990万公顷,比1996年增长了23倍,其产值约为15亿美元。在我国,目前正在研究和开发的转基因作物已达47种,涉及各类基因共103个。1996年以来,我国已批准的转基因产品有转基因棉花、转基因番茄、转基因抗病毒辣椒等5种,其中转基因棉花1999年种植面积已达到16万公顷。从总体来说,

我国基因工程技术已经成为发展中国家的领头羊。很多人预言,现代基因工程技术的发展,将会引起一场比“绿色革命”意义更为深远的“基因革命”。目前,科学家们还从生物安全性因素考虑,围绕转入的目的基因、标记基因、转基因的插入位点、表达产物对整体效应以及遗传工程产物有无致毒性,对生态环境的影响等问题,进行严肃认真的科学实验和全面细致的论证,使转基因产品快速健康发展,为人类造福。

事实上,基因技术在世纪之交为我们所展示的宏图,不仅仅是表现在农业方面,它还是揭开生命之谜的有力手段,同时在发酵工业、环境保护、医药医疗等方面也大显身手。特别是继曼哈顿原子弹计划和阿波罗登月计划之后的具有里程碑意义的第三大科学计划——人类基因组计划,被誉为是解读“人体天书”的奠基性工程。2000年4月26日,中、美、日、德、法等国家的领导人和科学家以不同方式,向世界宣布了人类基因组测序草图已经完成,它开创了现代生物学和医学的先河,展示了“基因革命”的美好未来,吹响了世界性“基因大战”的号角。第一张人类基因测序草图绘制成功,无疑实现了庞大的“人类基因组计划”核心部分的目标,其意义之大和影响之深无论怎样形容都不为过。因为如果没有这项奠基性的工作,我们的探索还不知要到何时。巨大的财力、物力的投入,当然关键还在于科学家们的全身心精力和智力的投入,使得10余年前我们还认为深不可测的基因王国,如今能够清晰而有序地出现在我们面前,这个成就的确令人惊叹。虽然“人类基因组计划”最终完成要到2003年,但美国、欧洲、日本等的生物和制药公司早已迫不及待地把研究开发的重点转向基因分析和基因药物开发,世界“基因大战”第二个回合的序幕已经拉开。中国作为最大的发展中国家和世界基因资源大国,如何加快生物基因资源的保护、

开发和利用,迎接 21 世纪世界“基因经济”的挑战,是每一个科技工作者和全中国公民都必须认真思索的问题。

可以这样说,基因技术已经全面深入地改变了人类生活的所有领域,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。因此,《基因和基因工程》作为一部资料性、学术性、实用性较强的著作,对我们正确面对“基因革命”带来的问题与选择,促进和推动我国基因组研究和基因工程技术的发展,无疑是十分有益的。

卢良恕

中国农业专家咨询团主任

中国工程院院士

2002 年 10 月 14 日

# 目 录

## 序言

### 第一章 生命的钥匙

- 基因的概念和基因学说 ..... 1
- 第一节 从“自然发生说”到达尔文的进化论 ..... 2
- 第二节 孟德尔的遗传规律 ..... 4
- 第三节 现代遗传学的创立 ..... 6
- 第四节 “基因”概念的提出 ..... 8
- 第五节 摩尔根基因连锁与互换规律 ..... 9
- 第六节 基因的化学本质 ..... 11
- 第七节 DNA 的双螺旋结构 ..... 13
- 第八节 基因突变 ..... 17

### 第二章 遗传信息的人工重组

- 基因工程的诞生和发展 ..... 21
- 第一节 基因工程的诞生 ..... 21
- 第二节 基因工程的技术原理 ..... 24
- 第三节 基因工程的发展态势 ..... 28

### 第三章 生命天书的解读

- 人类基因组计划 ..... 35
- 第一节 从曼哈顿计划到阿尔塔会议 ..... 35
- 第二节 四张小图——人类基因组计划的核心 ..... 38
- 第三节 人类基因组计划的主要进展 ..... 47
- 第四节 生物信息学帮助我们破解生命之谜 ..... 51



---

第五节	后基因组时代:基因芯片技术的应用	55
第六节	HGP 的科学价值和社会伦理问题	58
<b>第四章</b>	<b>大有可为的新兴产业</b>	
——	基因工程的前景与展望	65
第一节	揭开生命之谜的有力手段	65
第二节	发酵工业的新时代	70
第三节	新的“绿色革命”	78
第四节	基因诊断和基因治疗	85
第五节	环境保护:基因技术大显身手	91
<b>第五章</b>	<b>中国应对基因经济</b>	
——	不能错过的发展机遇	96
第一节	世界“基因战”展开第二回合	96
第二节	中国基因研究和产业发展现状	100
第三节	中国的人类基因组计划和基因组研究	109
第四节	中国干细胞研究:跻身世界先进行列	118
第五节	生物资源基因保护和开发刻不容缓	120
第六节	21 世纪的中国:怎样迎接基因经济时代	125
<b>第六章</b>	<b>克隆</b>	
——	生命科学的一次飞跃	133
第一节	克隆是什么	133
第二节	神秘的克隆羊——多利	134
第三节	克隆技术的应用	140
第四节	人体克隆会被允许吗	143
<b>附录一:</b>	<b>基因工程研究史</b>	150
<b>附录二:</b>	<b>人类基因组研究大事记</b>	154
<b>附录三:</b>	<b>基因术语</b>	156

# 第一章

## 生命的钥匙

### ——基因的概念和基因学说

20 世纪是生命科学的世纪。20 世纪生命科学中最重要的进展，就是从分子水平上对基因取得了全面的认识。可以这样说，20 世纪生命科学的发展史，就是对基因的认识不断深化的历史，也是人们利用这种知识为人类造福的能力不断增强的历史。

近些年来，报纸、杂志、电视等各种大众传媒上有关“基因”的文章比比皆是。特别是由于 2000 年 6 月 26 日各国科学家向全世界宣布“人类基因组计划”工作草图绘制成功，“基因”和“基因组研究”更是成为人们谈论的焦点问题。

但“基因”是什么？它又是如何操纵着生物的生长、发育、繁衍？“基因工程”、“人类基因组计划”又是怎么回事？它们对我们的生活会产生什么样的影响？对这些问题，很多人知之甚少。因此，有必要先介绍一下基因的概念和几个基因方面的学说。

## 第一节 从“自然发生说”到达尔文的进化论

生物能够生生不息，一代又一代地繁衍下去，而且能够把自己的主要特征稳定地传递给后代，靠的是一种什么机制呢？自从人类开始有意识地探索自然界的奥秘以来，这个问题就一直是人们研究的热点。

在中世纪欧洲，由于封建宗教专制统治，“自然发生说”一直占统治地位。所谓“自然发生说”，就是认为生物是由非生物体产生的。例如，尼罗河流域的农民发现，一年一度的尼罗河泛滥之后，从沉积的泥浆中会冒出很多青蛙，就认为青蛙是泥浆变来的；谷仓里发霉的谷物变成了长着翅膀的谷蛾，就认为谷蛾是谷物变来的；腐烂的猪肉变成了成堆的蛆虫，蛆虫是腐肉变来的，等等。所有的生活经验都证明了这个“道理”。

这种观点完全抹杀了生物和非生物的界限，根本谈不上对遗传本质的探索，甚至对遗传现象的正确认识都做不到。这个观点在1668年受到莱弟（Francesco Redi）的实验的挑战，1864年被法国微生物学家巴斯德的实验结果所彻底推翻。

自然发生说的推翻，使人们认识到：无生命的物体不能直接变化成生物，生物个体只能由该种生物的亲代繁殖得来。然而，地球上最初没有生命，后来出现了生命，这种生物的系统发生，则必然要经历一个从非生物体到生物体的转变过程。

地球上的生物是从哪里来的呢？历来就有两种学说的争论。一种是从宗教观念出发，包括亚里斯多德的“创世说”和东方的“神学”。它们均认为生物是由“上帝”或

“神”创造出来的，而且自被创造出来后就一直没有变化。对于这种观点，现在已经无需用太多的口舌，人们就可以轻易地批驳它。另一种是建立在科学基础之上的、由达尔文提出的“进化论”。

1798年，马尔萨斯在研究人口问题时首次提出了生物的“适者生存”的概念。1910年，拉马克提出了自己的“用进废退、获得性遗传”的进化论。他认为，长颈鹿的脖子很长，是由于要经常伸长脖子、努力摘取树枝高处新鲜嫩叶的努力所带来的结果。虽然拉马克的进化论是不正确的，但他是第一个系统地提出生物是处在不断变化之中的学者，对亚里斯多德的“经典理论”，是一个勇敢的挑战。

1859年，达尔文发表了他的伟大著作《物种起源》，系统地提出了生物进化的理论。他认为，在生物群体里每个个体之间都存在着差别（生物群体中存在着变异）；这些差别可以遗传给后代（变异是可以遗传的）；生物后代的繁殖量超过环境的承受能力，因此个体之间对有限的资源进行竞争（生存斗争）；最能适应环境的个体会生存下来，并留下更多的后代（适者生存）。

达尔文的进化论，是人类第一次对生物的起源与发展的合理解释。在人类社会发展史上，这个理论是使生物学研究与宗教理论彻底分家的开端，它不仅改变了生物学的面貌，而且奠定了现代遗传学发展的基础，从而改变了整个世界。因此可以这样说，达尔文是启动现代遗传学革命的第一人。

虽然达尔文的进化论对生物的起源与发展作出了合理的解释，但他并没有说明生物性状是如何遗传给后代的？即生物遗传机制。真正开始阐明生物遗传规律的，是伟大的生物学家孟德尔和他的豌豆杂交试验。

## 第二节 孟德尔的遗传规律

在自然科学史上，瓦特发明蒸汽机，牛顿发现经典力学的三大规律，似乎都是人所共知的事。但是伟大的生物学家孟德尔（1822~1884）提出的遗传因子（即基因）的分离和自由组合规律，对他所处的时代来说实在是太先进了，以至于他的论文在发表后的35年间，都没有引起生物学界同行们的注意，就连当时赫赫有名的生物学家、进化论的提出者——达尔文，也没有认识到孟德尔遗传因子学说的重要意义，致使他的遗传机制理论，重蹈了他自己所提出的遗传学理论的覆辙。

### （一）可敬的牧师——孟德尔

格里高·孟德尔（G. J. Mendel）1822年7月22日诞生在奥地利一个贫苦的农民家庭。正是他，一个从小热爱劳动、热爱大自然的孟德尔，成了我们永远纪念的现代遗传学的鼻祖。



现代遗传学的奠基人——孟德尔

少年的孟德尔，家境贫寒。不幸的是，当他 16 岁时，父亲因服劳役而致伤残。此后，孟德尔只得自谋生路，有时受雇于人，以便糊口。贫困的折磨，迫使他于 1843 年进入布鲁恩的一家修道院，做了修道士。他苦读 4 年，终于在 1847 年做了牧师。可是身为牧师的孟德尔，对神学缺乏兴趣。他长于数理，更喜爱生物。为了争得一名教师的资格，他曾参加过考试。但是，由于当时的偏见，自然是名落孙山。然而不幸之中的万幸是，他遇到了伯乐——有一位教授从他的物理试卷上发现这是一个有为的青年，推荐并资助他进了维也纳大学理学院。天才的孟德尔在这里刻苦攻读了理学各科后，再次回到了修道院。直到 1854 年，他才成为一个代理教员。此后的 14 年，他主讲过动物学、植物学、物理学等课程，并开始了他的科学研究工作。他研究过天气、气象、养蜂，但最著名的是长达 8 年之久的豌豆杂交试验，从而揭开了现代遗传学的篇章。

## （二）豌豆杂交试验

在豌豆的品种中，种子有圆粒的，有皱粒的；有开白花的，也有开红花的；等等。孟德尔把种子的圆与皱，花色的红与白等同类又有差异的性状叫做相对性状。他的实验就是用具有相对性状的两个品种进行杂交。

他把皱粒种子的豌豆的花粉传授在圆粒种子植株的花柱上，结果收获的种子全部是圆粒的。反过来，将圆粒植株的花粉传授给皱粒植株，结果相同，结出的种子也全部是圆粒的。这项实验共收获 253 粒种子。第二年，他把这些种子种下，令其自花授粉（遗传学上叫做自交），获得了 7324 粒第二代种子。不过，其中 5474 粒是圆的，1850 粒是皱的，得到“圆:皱=2.96:1”的比值。这与第一代情形

大不相同。孟德尔又做了六个类似实验，结果相对性状的比总是围绕3:1波动。孟德尔继续完成了2对、3对，以至 $n$ 对基因同时传递时，子代各类型比例关系的研究，结果显示各比例均大体符合 $(3:1)^n$ 展开型的规律。

于是，孟德尔认为，每种生物的遗传性状决定于细胞中的某种遗传因子（即孟德尔因子）；性状的遗传是由于遗传因子在亲子之间的传递；在真核生物中，遗传因子成对存在（有多少性状就有多少对基因），其中一个来自父方，一个来自母方。这就是遗传学中著名的基因分离与自由组合法则，是现代遗传学的基础。

1865年2月8日和3月8日，孟德尔在他所在的捷克布尔诺地区自然史协会的学术集会上，报告了自己利用豌豆所做的杂交实验，以及以此为基础得出的遗传规律。次年，他又把这一研究结果以《植物杂交试验》为题发表在该协会的会刊上，大约有120家图书馆接到了这本印有孟德尔论文的刊物。遗憾的是，如此重大的发现，竟未引起当时科学界的任何反响。作为现代遗传学开端的孟德尔的《植物杂交实验》论文，竟在书架上沉睡了34个年头无人问津，以至于1900年才被科学界公认为现代遗传学历史的起始点。

### 第三节 现代遗传学的创立

1900年，也就是孟德尔逝世后的第16年，这不仅是遗传学界，而且是所有人们值得纪念的一年。说来也巧，生活在三个不同国家、互不相识、没有来往的三位植物学家，德国的科伦斯（K. C. Correns）、奥地利的契马克（E. S. Tschermak）和荷兰的戴·弗里斯（H. de Vries）却

在同一时间分别重新发现了孟德尔定律。他们在为发表自己杂交实验的研究论文做准备工作时，都查阅到了孟德尔的遗著。三位学者激动万分，原来，35年前伟大的科学先驱已经写出了巨著，孟德尔才是发现分离和自由组合定律的第一人，而自己的工作无非是孟德尔遗传定律的验证。

说到这里，我们现在也可能极为感慨，不仅由于遗传规律的重新发现，也由于三位学者的科学态度，谦虚而诚实的美德，堪称为我们的楷模。在这里不能不提到巴特松(Bateson)，他是一位英国植物育种家。1899年，他在一次学术会议上的报告，第一次强调了科学的统计方法在遗传机制研究工作中的重要性。然而，使巴特松大为意外的是，就在他提出这个观点前30多年，有一位植物育种学家已经按他这样说的做了，而且发表了论文，提出了对遗传规律的深刻认识。这位科学家就是当年一直被遗忘，而今鼎鼎大名的孟德尔。当孟德尔遗传规律重新发现后不久，巴特松就在英国皇家园艺学会学报上发表论文，系统地介绍了孟德尔的工作，他认为孟德尔发现的遗传规律是“最为重要的一个新规律”。他又很快把孟德尔的论文翻译成英文，介绍给英语世界的科学家。而且，遗传学的英文名称“genetics”也是由巴特松——这位孟德尔主义最热心的支持者首先提出来的。1905年他在给剑桥的动物学家亚当·塞奇威克(Adam Sedgwick)的信中，第一次用到这个新词。1906年，他担任“第三届国际杂交育种大会”的主席，在开幕词中他向大会提议用“genetics”一词代表孟德尔定律重新发现后蓬勃兴起的一个新的学科分支，他认为只有这样才能“充分体现我们在阐明遗传和变异现象中贡献的力量，换句话说，这门学科是要阐明生物繁衍的生理机制，对于进化论者和系统发生论者面临的理论问题以及动植物



育种者面临的应用问题均具有深刻的影响”。

这次大会主要是由英国皇家园艺学会主办的。这个学会到 1906 年已经具有 1 万多名会员。在 1899 年举办的“第一届国际杂交育种大会”后，学会已经把工作中心从过去长期的对植物资源的收集、整理和分类，转移到利用杂交方法创造新的品种上来。从 1860~1898 年的 38 年间，通过杂交得到的新品种从 4 个增加到 800 个。这种丰富的杂交经验，是这个学会的会员能够热情“拥抱”孟德尔理论的重要原因。从此以后，在这个颇具影响力的学会的倡导、支持下，遗传学与胚胎学、进化论等学科逐步分离，形成一支具有旺盛生命力的学科分支，而且逐步取得了生物学核心学科的地位。

巴特松在给遗传学下定义时特别使用了“生理机制”这个词，这使新生的遗传学从一诞生时就注重利用实验手段研究问题，与进化论主要依靠描述性手段形成鲜明对比。这也是生物学从描述性的经验科学走向实验性的理性科学的开始。可以说，巴特松，他把自己的全部精力投入了孟德尔学说的发展，为科学界认识孟德尔工作的重要性，为现代遗传学的发展做出了十分重要的贡献。

#### 第四节 “基因”概念的提出

1902 年，美国细胞遗传学家萨顿 (W. S. Sutton) 和德国的布维利 (T. Borveri)，根据对细胞减数分裂的研究，发现染色体行为与孟德尔遗传因子行为的一致性，两人同时提出了“染色体遗传理论”，他们认为孟德尔提出的遗传因子是以染色体为载体的，首次把遗传因子与染色体联系起来。1909 年，丹麦遗传学家约翰逊 (W. L. Johansen)