



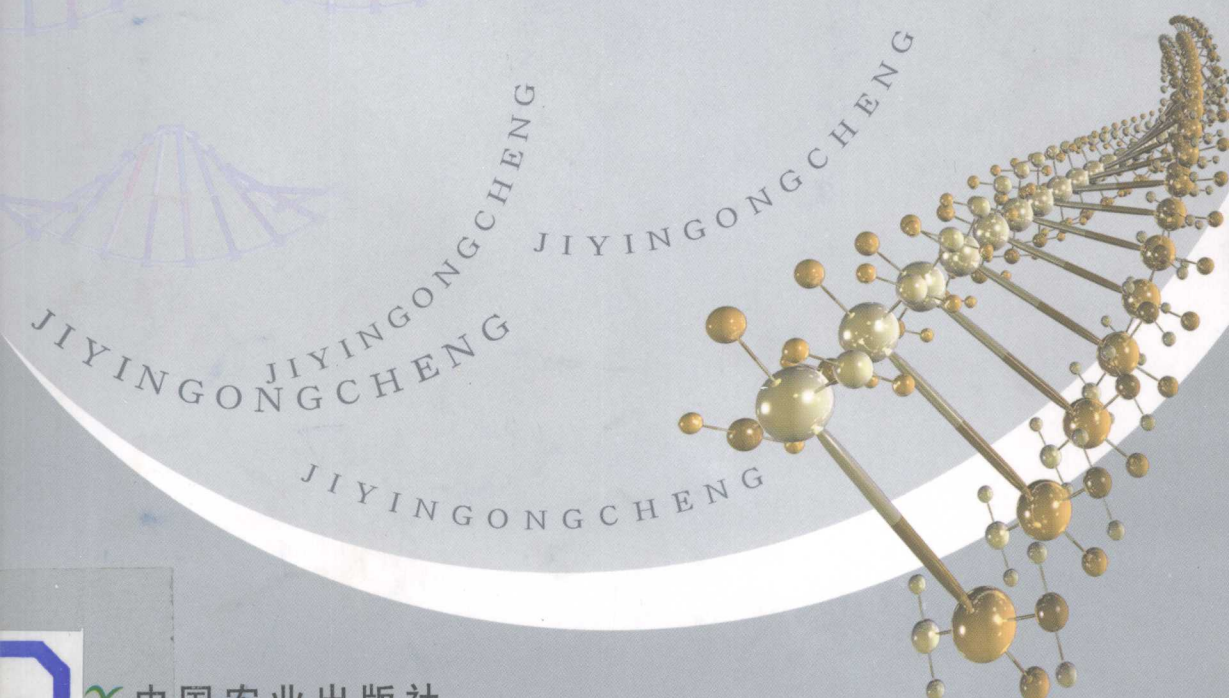
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



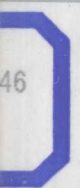
21世纪农业部高职高专规划教材

基因工程

夏启中 主编



JIYINGONGCHENG
JIYINGONGCHENG
JIYINGONGCHENG
JIYINGONGCHENG



中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪农业部高职高专规划教材

基因工程

夏启中 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基因工程/夏启中主编. —北京: 中国农业出版社,
2007. 7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21世纪农
业部高职高专规划教材

ISBN 978-7-109-11728-0

I. 基… II. 夏… III. 基因-遗传工程-高等学校: 技
术学校-教材 IV. Q78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 087631 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 杨天桥

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 14.25

字数: 248 千字

定价: 19.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

近年来，由于生命科学研究的突飞猛进、生物技术的重大创新和市场的巨大需求，世界范围内一场具有划时代意义的生物技术和产业革命正在孕育和形成，现代生物技术发展已进入大规模产业化阶段，生物产业将成为继信息产业之后世界经济中又一个新的主导产业。基因工程是现代生物技术的重要基础和主要方面之一。基因工程的一个突出成果就是生物医药产业的迅速扩张，据权威估计，到2010年重组蛋白药物市场将达到600亿美元，基因治疗及相关产品市场将达到500亿美元，临床诊断试剂、芯片及抗体疫苗等将达到2000亿美元。基因工程的另一个突出成果是转基因动植物的大规模应用，目前成功的转基因植物有100多种，转基因动物有10多种，批准进行试验的有6000多种，有些已先后投放市场，取得了显著的经济、社会和生态效益，推动了新的农业科技革命。基因工程还向化工、造纸、环保和能源等渗透和融合，带动了生物化工、生物环保、生物能源等一批新兴产业群的发展。

生物技术领域、生物产业的蓬勃发展急需一大批第一线从事生产、管理及销售的应用型复合型人才，把具有生物技术前沿内涵的课程——基因工程引入高职院校，将有力地推动全国高职院校的生物技术、生物制药、医学、食品加工、畜牧兽医、农艺、园林园艺等专业的课程改革，也有利于提高人才的培养质量和拓宽高职学生的就业面向。这本《基因工程》的应运而生，正是我们在这种指导思想下的一种尝试。

目前国内外基因工程的教材和参考书比较多，理论性强，内容繁杂，难度较大，深度和广度都不适合高职高专院校的教学。本书主要是针对高职院校的教学要求编写的，编写过程中遵循了以下原则：理论知识内容简明扼要、基本概念表述准确、结构紧凑有序、脉络清晰；实验技术内容由

简到繁、循序渐进，注重应用性、实用性和操作性，强调动手能力和思维能力培养，为学生毕业后进入生物技术高新科技产业奠定基础。

本书的编写分工如下：第一章、第二章由夏启中博士、张明菊副教授编写；第三章由邓可洪老师编写；第四章由高勤学博士编写；第五章、第八章由李万德副教授编写；第六章、第九章由张江副教授和王金福老师编写；第七章由韩登桥教授编写。全书由夏启中教授统稿，最后聘请钟玉林教授、吴家和研究员审稿。

本书在编写过程中，还得到了黄冈职业技术学院余亮彬、毕宇、周桃英等老师的大力帮助，中国农业出版社也给予了大力支持，在此表示由衷地感谢！书中还引用了同行的许多资料和图片，在此一并表示感谢！

由于时间仓促，编者水平有限，错误遗漏之处难免，恳请同行和广大读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、基因及基因工程含义	1
二、基因工程理论依据	2
三、基因工程研究的主要操作内容和技术路线	3
四、基因工程的发展历程	4
五、基因工程的巨大意义及我国在该领域取得的成就	5
复习思考题	7
第二章 基因工程的技术基础	8
第一节 限制性内切酶	8
一、限制性内切酶的分类	8
二、限制性内切酶的命名及其识别特点	9
三、限制性内切酶的切割方式	9
四、限制性内切酶产生的末端的连接	10
五、限制性内切酶反应的影响因素	10
第二节 工具酶	11
一、DNA 聚合酶	11
二、末端脱氧核苷酸转移酶	13
三、T4 多聚核苷酸激酶	15
四、碱性磷酸酶	15
五、核酸酶	15
六、DNA 连接酶	16
第三节 DNA 序列分析	17
一、Maxam - Gilbert 化学法	17
二、Sanger 的双脱氧法	18
三、自动测序的发展	18
第四节 寡核苷酸的合成	19

一、寡核苷酸的生物合成	19
二、寡核苷酸的化学合成	19
三、DNA 化学合成的应用	20
第五节 聚合酶链式反应技术	21
一、聚合酶链式反应的原理	21
二、PCR 的反应条件	22
三、 <i>Taq</i> DNA 聚合酶与 PCR 扩增的精确性	22
四、PCR 的模板	23
五、PCR 的引物	23
六、PCR 扩增产物的电泳分析	24
七、PCR 产物克隆方法	25
八、PCR 应用中存在的问题与解决方法	26
九、PCR 技术的新进展	27
第六节 DNA 片段的连接重组	28
一、DNA 片段之间的连接	28
二、DNA 重组类型	33
复习思考题	34
第三章 基因的克隆和分离	35
第一节 基因分离和克隆的基本步骤	35
一、选择含目的基因的材料	35
二、DNA 片段的制备和克隆	36
三、目的基因的筛选	37
第二节 cDNA 文库的构建	38
一、cDNA 合成	38
二、获取全长 cDNA	39
三、将 cDNA 重组到载体上	43
第三节 目的 cDNA 克隆的筛选	44
一、用核酸探针筛选目的 cDNA	44
二、用寡核苷酸探针筛选目的 cDNA	44
三、差示筛选组织特异的 cDNA	44
四、用抗体筛选目的 cDNA	46
五、功能结合法筛选目的 cDNA	46
六、cDNA 序列测定	46
第四节 基因组 DNA 克隆	48

一、制备用于克隆的 DNA 片段	48
二、构建基因组文库的克隆载体	48
三、染色体步移法分析长片段真核基因	49
复习思考题	50
第四章 基因工程载体	52
第一节 质粒载体	52
一、质粒载体的生物学特性	52
二、插入失活	56
三、转化	57
四、常见的质粒载体类型	59
第二节 基于 λ 噬菌体的载体	65
一、 λ 噬菌体的生物学	66
二、 λ 噬菌体载体	70
第三节 黏粒载体	73
一、柯斯质粒的特点	73
二、大分子 DNA 克隆载体: YACs 与 BACs	74
第四节 M13 载体	75
一、丝状大肠杆菌噬菌体的生物学	75
二、M13 噬菌体的基因组结构	77
三、M13 噬菌体的主要用途	77
第五节 表达型载体	78
一、表达载体的类型	78
二、表达载体构建的一般原则	81
第六节 真核细胞中的基因克隆与表达载体	83
一、酵母	83
二、哺乳动物细胞	84
复习思考题	87
第五章 目的基因导入受体细胞	88
第一节 受体细胞	88
一、受体细胞的概念及其选择的原则	88
二、几类受体细胞概述	88
第二节 重组 DNA 分子转入原核生物细胞	90
一、重组质粒 DNA 分子转化大肠杆菌	90
二、重组 λ 噬菌体 DNA 分子转导大肠杆菌	93

三、受体细胞的选择	95
四、重组 DNA 分子转入真核细胞	96
第三节 重组子的筛选	103
一、遗传表型直接筛选法	103
二、依赖于重组子结构特征分析的筛选法	110
三、核酸分子杂交检测法	111
四、免疫化学检测法	121
五、转译筛选法	123
六、插入失活法	125
七、基因表达产物分析法	126
复习思考题	127
第六章 外源基因的表达	128
第一节 外源基因的表达机制	128
一、外源基因的起始转录	128
二、mRNA 的延伸与稳定性	128
三、外源基因 mRNA 的有效翻译	129
四、表达蛋白在细胞中的稳定性	129
五、目的基因沉默	129
第二节 基因表达的调控元件	130
一、启动子	130
二、增强子	132
三、终止子	132
四、衰减子	133
五、反义 RNA	133
第三节 外源基因表达系统	134
一、大肠杆菌基因表达系统	134
二、酵母表达系统	137
三、哺乳动物细胞基因表达系统	139
四、植物细胞基因表达系统	142
第四节 基因表达产物的检测与分离纯化	145
一、基因表达产物的检测	145
二、基因表达产物的分离纯化	146
复习思考题	147
第七章 基因工程的应用	148

第一节 基因工程药物	148
一、基因工程激素类药物	148
二、基因工程细胞因子类药物	149
三、基因工程抗体	151
四、基因工程受体	152
五、基因工程疫苗	153
第二节 转基因植物	155
一、抗病虫害转基因植物	155
二、抗逆转基因植物	157
三、药用转基因植物	157
四、转基因植物食品	158
五、其他转基因植物	158
第三节 转基因动物	159
一、利用转基因动物改良动物品种	159
二、转基因动物作为生物反应器	160
三、转基因动物筛选药物	160
四、转基因动物应用于人体器官移植	161
第四节 基因治疗	161
一、肿瘤的基因治疗	162
二、分子遗传病的基因治疗	164
三、心血管病的基因治疗	165
四、病毒病的基因治疗	166
第五节 人类基因组计划	167
一、疾病与基因	167
二、人类基因组研究计划	168
三、人类基因组研究进展与展望	169
第六节 基因芯片技术及应用	170
一、基因芯片技术	170
二、基因芯片的应用	171
复习思考题	171
第八章 基因工程的争论和安全措施	172
第一节 基因工程的安全隐患及其争论	173
一、基因工程的安全隐患	173
二、对基因工程的争论	178

第二节 基因工程安全措施	182
第三节 我国生物技术发展及其安全问题	185
复习思考题	188
第九章 基因工程实验实训指导	189
实验一 大肠杆菌 pBR322 质粒 DNA 提取	189
实验二 植物总 RNA 的提取	191
实验三 核酸提取物的定量分析	192
实验四 利用琼脂糖凝胶分离 DNA 片段	193
实验五 目的基因的 PCR 扩增	195
实验六 目的基因与载体的限制性内切酶酶切、连接与检测	197
实验七 感受态菌的制备	199
实验八 重组 DNA 的转化	201
实验九 随机引物法制备核酸探针	202
实验十 Southern 印迹杂交	204
附录	207
附录 1 常用的测量单位及换算	207
附录 2 常用的限制性内切酶的主要性质及缓冲液	209
附录 3 常用抗生素配制及使用浓度	210
附录 4 主要溶液（母液）及缓冲液配制	211
附录 5 部分重要的生物信息学网络资源	214
主要参考文献	215

第一章 绪 论

一、基因及基因工程含义

(一) 基因的概念及其发展

回顾遗传学发展的历史可以认识到基因概念的发展和完善。

(1) 1866—1910, 孟德尔时期。孟德尔 (Mendel) 于 1856—1864 年进行豌豆杂交试验, 通过细致的后代记载和统计分析, 首次提出了分离和独立分配遗传规律, 认为性状遗传是受细胞里的遗传因子 (inherited factor) 控制的。

(2) 1910—1940, 细胞遗传学时期。1910 年以后, 摩尔根 (Morgan) 等用果蝇 (*Drosophila melanogaster*) 为材料进行了大量的研究, 发现了性状连锁现象, 提出了连锁遗传规律, 并创建了“基因论”, 认为基因是在染色体上呈直线排列的念珠状结构, 从而把基因的概念从抽象的英文代号转为实体。

(3) 1940—1961, 生化遗传学时期。1941 年比德尔 (Beadle) 等人开始用红色面包霉 (*Neurospora crassa*) 为材料, 研究了基因的生理生化功能, 分子结构及诱发突变等问题, 证明了基因是通过酶而起作用的, 提出了“一个基因一个酶”的假说, 证明基因是通过酶起作用的。1944 年, Avery 以肺炎链球菌为材料提出了 DNA 是主要的遗传物质。1952 年, Hershey 和 Chase 在大肠杆菌 (*E. coli*) 的 T2 噬菌体内用放射性同位素进行标记试验, 进一步证明了 DNA 的遗传传递作用。

1953 年 Wateson 和 Crick 通过 X 射线衍射分析研究, 提出了 DNA 双螺旋结构模型, 标志着遗传学发生了重大的历史转折, 进入到分子遗传学阶段。

1955 年 Benzer 以 *E. coli* 的 T4 噬菌体为材料进行研究, 提出了顺反子假说, 打破了基因的功能、突变和交换的三位一体的概念, 认为基因是可以分割的, 仅仅是功能的一位一体的最小单位。

1961 年法国 Jacob 和 Monod 以 *E. coli* 为材料提出了乳糖操纵子假说 (lactose operon hypothesis), 表明基因的表达是受产物调节控制的, 大大地深化了生化遗传学的内涵。

(4) 1953 年至今, 分子遗传学时期。1953 年, Watson 和 Crick 用 X 射线衍射分析, 提出 DNA 双螺旋结构, 拉开了分子遗传学研究的序幕。认为基因

是与一个多肽链的合成相对应的一段 DNA，平均大小为 500~1 500 bp。1977 年，Sanger 弄清了噬菌体 Φ X174 的全部碱基序列（5 386 个碱基），确定了 DNA 序列分析的新战略和新方法，从而使分子生物学和分子遗传学进入了一个崭新的时代。

（二）基因工程概念

基因工程（genetic engineering），也称为遗传工程或 DNA 重组技术，是按照人们的愿望，进行严密的设计，通过体外 DNA 重组和转基因等技术，有目的地改造生物种性，使现有的物种在较短时间内趋于完善，创造出更符合人们需求的新的生物类型。具体而言，是指在体外对不同生物的遗传物质（基因）进行剪切、重组、连接，然后插入到载体分子中（细菌质粒、病毒或噬菌体 DNA）形成 DNA 嵌合体（DNA chimera），再转入到微生物、植物或动物细胞内进行无性繁殖，并表达出基因产物。

二、基因工程理论依据

1. 不同基因具有相同的物质基础 地球上的一切生物，从细菌到高等动物、植物，直至人类，它们的基因都是一个具有特定遗传功能的 DNA 片段。而所有生物的 DNA 的基本结构都是一样的。因此，不同生物的基因（DNA 片段）是可以重组互换的。

虽然某些病毒的基因定位在 RNA 上，但是这些病毒的 RNA 仍可以通过反转录产生 cDNA，并不影响基因的重组或互换。

2. 基因是可切割的 基因呈直线排列在 DNA 分子上。除少数基因重叠排列外，大多数基因彼此之间存在着间隔序列。因此，基因可以从 DNA 分子上一个一个完整地切割下来。即使是重叠排列的基因，也可以把指定的基因切割下来，尽管破坏了其他基因。

3. 基因是可以转移的 基因不仅可以切割，而且可以在染色体 DNA 上移动，甚至可以在不同染色体间进行跳跃，插入到靶 DNA 分子之中。

4. 多肽与基因之间存在对应关系 现在普遍认为，一种多肽就有一种相对应的基因。因此，基因的转移或重组可以根据其表达产物多肽的性质来检查。

5. 遗传密码是通用的 一系列三联密码子（除极少数的几个以外）同氨基酸之间的对应关系，在所有生物中都是相同的。也就是说遗传密码是通用的，重组的 DNA 分子不管导入什么样的生物细胞中，只要具备转录翻译的条件，均能转译出原样的氨基酸。即使人工合成的 DNA 分子（基因）同样可以转录翻译出相应的氨基酸。

6. 基因可以通过复制把遗传信息传递给下一代 经重组的基因一般来说

是能传代的，可以获得相对稳定的转基因生物。

三、基因工程研究的主要操作内容和技术路线

(一) 主要操作内容

1. **目的基因的获取** 从复杂的生物基因组中，经过酶切消化或 PCR 扩增等步骤，分离出带有目的基因的 DNA 片断。

2. **重组体的制备** 将目的基因的 DNA 片断插入到能自我复制并带有选择性标记（抗菌素抗性）的载体分子上。

3. **重组体的转化** 将重组体（载体）转入适当的受体细胞中。

4. **克隆鉴定** 挑选转化成功的细胞克隆（含有目的基因）。

5. **目的基因表达** 使导入寄主细胞的目的基因表达出人们所需要的基因产物。

(二) 基本技术路线

基因工程研究的成败，很大程度上取决于技术路线的严密设计。当研究目标确定后，必须根据前人研究成果和自己新的研究思路，严密设计可行的实验技术路线。基因工程研究的基本技术路线见图 1-1，在此基础上根据自己研究的目的要求进行增删和具体化。

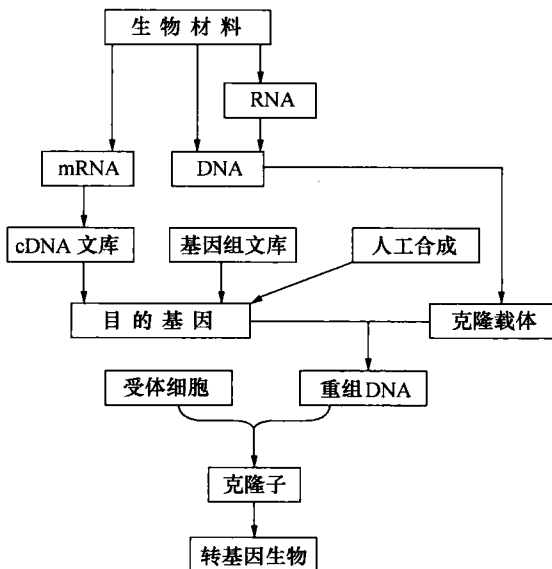


图 1-1 基因工程基本技术路线

(引自楼士林等, 2002)

四、基因工程的发展历程

基因工程是在生物化学、分子生物学和分子遗传学等学科的研究成果基础上逐步发展起来的，其发展历程大致可分为以下三个阶段：

1. 基因工程的准备阶段 1944年，美国微生物学家 Avery 等通过细菌转化试验，1952年 Hershey 和 Chase 通过噬菌体转染实验，证明了遗传物质是 DNA，DNA 是基因载体。从此之后，对 DNA 构型开展了广泛研究，至 1953 年 Watson 和 Crick 建立了 DNA 分子的双螺旋结构模型和半保留复制机制。在此基础上进一步研究 DNA 的遗传信息，1958 年至 1971 年先后确立了中心法则，破译了 64 种密码子，成功地揭示了遗传信息的流向和表达问题。这些为基因工程问世提供了理论上的准备。

20 世纪 60 年代末 70 年代初，限制性核酸内切酶和 DNA 连接酶等的发现，使 DNA 分子进行体外切割和连接成为可能。1972 年斯坦福大学的 Paul Berg 等首次开创性地完成了将 SV40 的 DNA 片断与 λ 噬菌体的 DNA 的体外重组实验，提出了体外重组的 DNA 分子是如何进入宿主细胞，并在其中进行复制和有效表达的。并进一步了解到质粒分子（DNA）是承载外源 DNA 片段的理想载体，病毒、噬菌体的 DNA（或 RNA）也可改建成载体。这些为基因工程问世做好了技术准备。

2. 基因工程问世 1973 年，斯坦福大学的 Cohen 等将含有卡那霉素抗性基因的大肠杆菌 R6-5 质粒与含有四环素抗性基因的另一种大肠杆菌质粒 pSC101 连接成重组质粒，具有双重抗药性。还把非洲爪蟾核糖体基因片断同 pSC101 质粒重组，转化大肠杆菌，并在菌体内成功转录出相应的 mRNA。这是第一次成功的基因克隆实验。这标志着基因工程诞生。不仅宣告质粒分子可以作为基因克隆载体，能携带外源 DNA 导入宿主细胞，且证实了真核生物基因可以转移到原核生物细胞中，并在其中实现功能表达。

3. 基因工程的迅速发展阶段 自 20 世纪 70 年代以后，基因工程得到了迅速的发展。在此期间，不仅发展了一系列新的基因工程操作技术，构建了多种供转化（或转导）原核生物和动物、植物细胞的载体，获得了大量转基因菌株，而且于 1980 年首次通过显微注射培养出世界上第一个转基因动物——转基因小鼠，1983 年采用农杆菌介导法培育出世界上第一例转基因植物——转基因烟草。基因工程的应用异常迅猛，用基因工程技术研制生产的贵重药物，至今已上市的有 60 种左右，上百种药物正在进行临床试验，更多的药物处于前期实验室研究阶段。自从 1986 年首次批准转基因烟草进行田间试验以来，转基因植物的研究也有很大的进展，全世界批准进行田间试验的转基因植物就

有 1 467 例 (1991 年), 至 1998 年 4 月已达 4 387 项。转基因动物研究的发展虽不如转基因植物研究那样快, 但也已获得了转生长激素基因鱼、转生长激素基因猪和抗猪瘟病转基因猪等。21 世纪初是基因工程应用研究的一个鼎盛时期, 农、林、牧、渔、医的很多产品上都打上了基因工程的标记。

五、基因工程的巨大意义及我国在该领域取得的成就

基因工程技术已经完全突破了经典的生物学研究方法和内容, 能直接从生物细胞中分离出所需的基因 (特定的 DNA 片段), 并使其增殖得到大量同质基因。基因工程技术还能运用克隆得到大量 DNA 片段, 测定基因在染色体上的位置, 分析基因的结构与功能, 并进而能用人工方法来合成基因、改造基因, 它形成了一个内容广泛而崭新的新领域。自然界创造的新的生物物种一般需要几十年乃至几百年, 但是在实验室用基因工程技术可能在几天之内完成这个过程。自然界从未有过的新型蛋白质也可通过基因工程技术创造出来。基因工程还打破了常规杂交育种难以突破的物种之间的界限, 可以使原核生物与真核生物之间、动物与植物之间, 甚至人与其他生物之间的遗传信息进行重组和转移。人的基因可以转移到大肠杆菌中表达, 细菌的基因可以转移到植物中表达。基因工程使人类从单纯地认识生物和利用生物的传统模式跳跃到随心所欲改造生物和创造生物的新时代, 为生物学、医药学、遗传学、农业科学、环境科学和某些工业研究开拓了广阔的、革命性的发展前景。

基因工程既是现实的生产力, 更是巨大的潜在生产力, 必定是下一代新产业的基础技术, 成为世界各国特别是发达国家国民经济的重要支柱。在能源短缺、食品不足和环境污染这三大危机已开始构成全球社会问题的今天, 基因工程及其伴随的细胞工程、酶工程、发酵工程和生化工程 (统称生物工程) 将是帮助人类克服这些难关的有力武器, 将给传统的产业带来又一场革命, 是关系到各国经济乃至影响人类社会发展的关键因素之一。

我国自 20 世纪 70 年代末即开始了基因工程研究工作, 经过 20 多年的研究开发, 我国的基因工程发展在医学、农业各个领域都取得了令人瞩目的成果, 正向产业化迈进。例如, 我国研制成功的基因工程药品近 20 种, 第一个从试验室走进市场的基因工程药是由预防医学科学院病毒研究所研制成功的干扰素, 该药对治疗病毒性疾病和肿瘤有很好的疗效, 是我国独立自主研制成功的, 达到国际先进水平。此后, 治疗病毒性疾病和治疗风湿性疾病的各种干扰素、癌症辅助治疗药白细胞介素、促红细胞生成素、粒细胞集落刺激因子和粒细胞巨噬细胞集落刺激因子、重组人生长激素、重组人胰岛素、碱性成纤维生长因子和表皮生长因子、痢疾疫苗等基因工程药品都纷纷从试验室走入临床应

用。此外，我国在 B 型血友病、恶性脑胶质瘤、梗塞性外周血管病等基因治疗方案进入或即将进入临床研究，其中血友病和恶性脑瘤的基因治疗取得了良好的治疗效果。我国基因治疗研究在关键技术方面取得重大突破，建立了靶向性高效非病毒型导入系统、通用性病毒载体、无创伤性基因导入脑内技术、人造血干细胞的扩散、定向分化及基因导入技术。这些技术获得了国内与国际专利，达到国际先进水平。

我国利用转基因动物作为生物反应器生产医用蛋白和多肽的研究也做出了良好的成绩。“九五”期间，我国科学家成功地培育出可表达医药用蛋白质的转基因牛、羊。这些成就将为我国培养转基因动物作为药用产品工厂打下了良好的基础。经过多年研究，我国科学家还成功地完成了杀虫蛋白基因（苏云金杆菌蛋白基因，Bt 基因）的人工合成，并于 1994 年获得了高抗棉铃虫的转基因棉花植株，使我国成为继美国之后拥有自主知识产权、独立研制成功转基因抗虫棉的第二个国家。导入 Bt 基因和豌豆胰蛋白酶抑制基因双价转基因抗虫棉花，以及抗真菌病毒转基因抗病棉花等一系列转基因抗虫、抗病棉花品系也相继研究成功。我国首次将中间偃麦草的抗黄矮病基因导入普通小麦，育成一批新品种。利用分子生物学技术分别建立了水稻、小麦、大豆等作物的 DNA 分子标记辅助育种技术体系，获得了一批重要的分子标记，并通过分子标记辅助育种培育了一批优良新品种。

1995 年中国和美国科学家合作，成功地定位和克隆了 Xa21 基因，所配制的 20 多个抗白叶枯病杂交稻新组合正在全国试种，抗病效果十分明显。我国科学家在体外对豌豆胰蛋白酶基因进行了改造，转入三系杂交稻，培育出的转基因稻表现出对水稻害虫的明显抗性；采用病毒外壳蛋白基因导入植物的方法，培育出了转基因抗黄瓜花叶病毒的番茄和甜椒获得成功。在“人类基因组计划”的影响下，我们国家 1992 年开始“水稻基因作图和测序计划”，取得良好成绩，1997 年又成功构建了高分辨率的水稻基因组物理图谱，使我国的水稻基因组研究工作继续保持世界领先水平。

1999 年我国加入了国际人类基因组测序计划，与美、英、日、德、法 5 国科学家共同完成人类基因组全序列测定工作。2000 年 6 月 26 日，我国科学家如期完成了所承担区域的工作框架图。这一工作使中国在国际人类基因组计划中占有了一席之地。

我国科学家在国际上首次发现了神经性高频耳聋等遗传病致病基因，还开展了肝癌、鼻咽癌、食管癌、白血病、高血压、糖尿病等的基因定位和相关基因研究，特别是急性早幼粒白血病相关基因。还构建了肝脏、脑、内分泌、心血病、造血等组织的 cDNA 文库，测定了 10 万个以上的 EST（表达标识序