

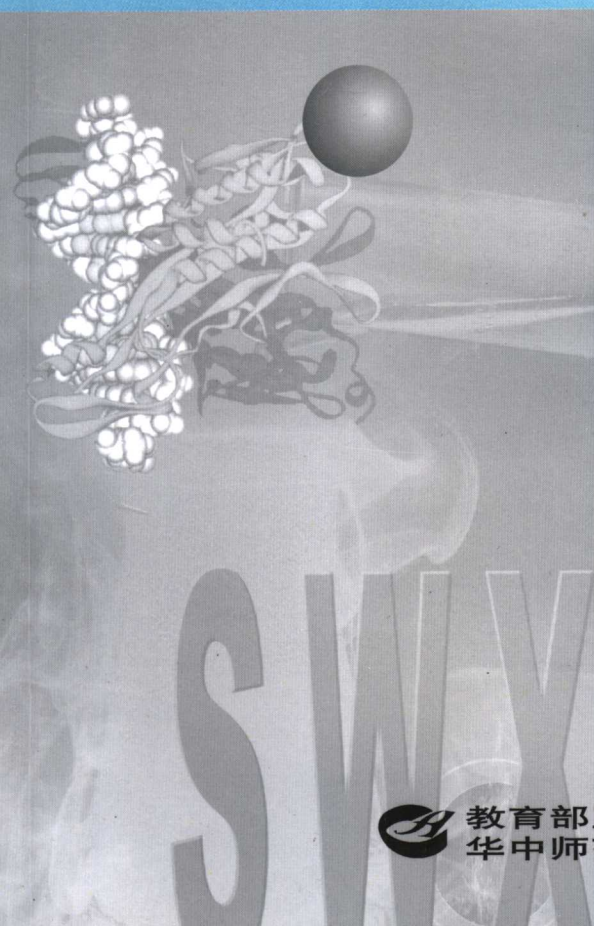
21世纪高等教育规划教材

生物学系列

生物工程概论

SHENGWU GONGCHENG GAILUN

■ 利容千 主编



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

21 世纪高等教育规划教材·生物学系列

生物工程概论

主 编：利容千

副主编：梅星元 彭银祥 刘隆炎

编 者：（按姓氏笔画排序）

王明全 叶 斌 刘隆炎

利容千 何昌义 陈明亮

李合生 李云捷 禹邦超

胡耀星 黄方一 梅星元

彭银祥 谢朝阳 谭新国

主 审：吴柏春

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本书全面地介绍了生物工程、生物技术的基本内容、应用及其产业化,内容丰富、通俗易懂、可读性强,是一本生物工程、生物技术的科学普及读物。全书共分为十三章,内容涉及基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程和蛋白质工程,着重介绍生物技术在医药、农业、食品、环境保护、能源、海洋生物开发等领域的应用,以及现代生物技术的安全性及社会伦理等。

本书是为高校非生物工程、生物技术类专业编写的教材,也可供从事生物工程、生物技术领域工作的有关人员阅读、自学和参考。

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

生物工程概论/利容千 主编. —武汉:华中师范大学出版社,2006.6
(21 世纪高等教育规划教材·生物学系列)

ISBN 7-5622-3335-7

I. 生… II. 利… III. 生物工程—高等学校—教材 IV. Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 148499 号

书 名:生物工程概论

主 编:利容千 ©

选题策划:华中师范大学出版社第二编辑室 电话:027-67867362

出版发行:华中师范大学出版社

地 址:武汉市武昌珞喻路 152 号 邮编:430079

发行部电话:027-67863040 67867371 67861549 67867076

邮购部电话:027-67861321 传真:027-67863291

网址:<http://www.ccnp.com.cn> 电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

经 销:新华书店湖北发行所

责任编辑:顾晓辉

封面设计:罗明波

责任校对:张 忠

印 刷 者:湖北恒泰印务有限公司

督 印:姜勇华

开本/规格:787mm×960mm 1/16

印 张:12.5

字 数:245 千字

版次/印次:2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1—4 000

定 价:19.00 元

敬告读者:欢迎举报盗版,请打举报电话 027-67861321。

本书如有印装质量问题,可向承印厂调换。



前言

生命科学是 21 世纪科技与经济竞争的焦点之一。人类目前所面临的人口与健康、粮食、环保、能源、资源等重大技术问题的解决,都有赖于生命科学和生物技术领域理论与技术的突破;理、工、农、医等科技的发展,伦理、道德、法律等社会问题也都与生命科学有着密切的关系。生命科学与技术的发展对人类社会生活、生命安全产生着重大的影响,从而给世界带来了机遇与挑战,也为中国及其企业的发展带来了机遇与挑战。相对于其他领域,我国现代生物技术领域的水平与发达国家相比差距是最小的,如果我们能够抓住这个千载难逢的历史机遇,落实科学发展观,则必能为中华民族复兴这一宏伟目标的实现作出我们的贡献。

中央政府已经对生物产业发展作出战略部署,提出我国要发展生物经济,造福世界人民,要成为生物技术强国和生物技术的大国。我校是全国第一所生物工程类普通高等本科院校,不仅要培养生物工程技术专门人才,还要使全校非生物工程、生物技术专业的学生都能了解生物工程、生物技术这门学科的基本内容及其与国计民生、人类社会的密切关系,结合他们的专业将来更好地为社会服务,故非常有必要开设“生物工程概论”课程,进行知识拓展。为此,特组织有关专业的教师编写了这部教材。

本书共十三章,分为两大部分。前部分 1~6 章,包括绪论、基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程和蛋白质工程,介绍基本理论知识;后部分 7~13 章,介绍生物技术与医药、农业、食品、环境保护、生物能源、海洋生物开发以及现代生物技术的的社会性及社会伦理等各个领域的应用。

本书编写的指导思想是力求内容丰富全面、文字通俗易懂,尽可能反映现代生物技术各领域的最新成就和研究进展。本书定位于生物科普性读物,可供非生物工程、生物技术的其他专业学生、干部、科技工作者和工作人员阅读和参考。

参与本书编写的有利容千(第 1、12 章),刘隆炎(第 2、7、13 章),王明全(第 3 章),梅星元、谭新国、叶斌(第 4 章),禹邦超(第 5 章),彭银祥、黄方一(第 6 章),李合生(第 8 章),胡耀星、李云捷(第 9 章),陈明亮、谢朝阳(第 10 章),何昌义(第 11 章),另外,黄方一还参加了书稿体例的编排及全书的整理工作。



本书承蒙武汉生物工程学院院长邓宗琦教授的关心和指导,吴柏春教授对本书内容进行了审定,在此一并致谢!

本书在编写过程中,尽管参考了国内外有关书籍和近期文献,但限于编者知识水平和写作能力有限,谬误和不足之处在所难免,敬请读者赐教指正。

编 者

2005.10 于武汉生物工程学院



目 录

第1章 绪论	1
1.1 生物工程与生物技术的含义	1
1.2 生物技术的产生	1
1.2.1 传统生物技术	2
1.2.2 近代生物技术	2
1.2.3 现代生物技术	2
1.3 生物工程技术的基本内容	2
1.3.1 基因工程	3
1.3.2 细胞工程	3
1.3.3 酶工程	3
1.3.4 发酵工程	3
1.3.5 蛋白质工程	3
1.3.6 五大生物工程技术之间的关系	3
1.4 生物技术涉及的学科及其技术	4
1.5 现代生物技术的应用与产业化	5
1.5.1 生物技术在各个领域的应用	5
1.5.2 应用生物技术的产业化及其基本特征	7
1.6 现代生物技术的发展现状	8
1.7 现代生物技术对于人类生活、社会生存的重要影响	10
第2章 基因工程	12
2.1 基因工程的概念	12
2.2 DNA的结构与功能	13
2.2.1 DNA的化学组成和分子结构	13
2.2.2 基因的分子结构	15
2.2.3 基因的功能	16
2.3 基因工程的“施工”步骤	18
2.4 目的基因的分离与合成	19
2.4.1 反向转录法	20
2.4.2 从细胞基因组中直接分离	20



2.4.3 用 PCR 技术从基因组中扩增出目的基因	20
2.5 基因工程工具酶	21
2.5.1 限制性内切酶	21
2.5.2 连接酶	22
2.5.3 其他基因工程工具酶	23
2.6 基因克隆载体	23
2.6.1 质粒克隆载体	23
2.6.2 病毒(噬菌体)克隆载体	24
2.6.3 人工染色体克隆载体	24
2.7 目的基因导入受体细胞	25
2.7.1 受体细胞	25
2.7.2 重组 DNA 导入受体细胞途径	26
2.8 基因工程的发展趋势	27
第 3 章 细胞工程	31
3.1 基本概念	31
3.1.1 细胞的基本结构	31
3.1.2 细胞分裂	32
3.2 植物细胞工程	34
3.2.1 植物细胞的全能性	34
3.2.2 植物组织培养程序	34
3.2.3 细胞培养	36
3.2.4 原生质体培养和融合	39
3.2.5 单倍体	41
3.3 动物细胞工程	44
3.3.1 动物细胞培养	45
3.3.2 昆虫细胞培养	47
3.3.3 动物细胞融合	47
3.3.4 核移植与动物克隆	48
第 4 章 发酵工程	53
4.1 发酵工程概述	53
4.1.1 发酵与发酵工程	53
4.1.2 发酵工程的发展回顾	54
4.2 发酵工业的生产过程和设备	56
4.2.1 原料预处理	57



4.2.2	发酵培养基的配制	57
4.2.3	发酵生产中的灭菌技术	57
4.2.4	无菌空气的制备	58
4.2.5	种子的扩大培养	58
4.2.6	发酵过程的设备	58
4.2.7	发酵过程的操作方式	59
4.2.8	发酵产品的分离和纯化	61
4.3	我国发酵工业的现状与展望	62
4.3.1	我国发酵工业的现状	62
4.3.2	我国发酵工业的展望	62
第5章	酶工程	64
5.1	酶工程的概念	64
5.1.1	酶催化的特点	65
5.1.2	酶工程的六大板块	66
5.2	酶的生产	66
5.2.1	获得生物催化剂的基本途径	66
5.2.2	酶的发酵生产	67
5.2.3	酶的分离纯化	69
5.3	工程酶	72
5.3.1	工程酶的概念	72
5.3.2	固定化酶	72
5.3.3	修饰酶	74
5.3.4	人工酶	75
5.4	酶反应器	75
5.4.1	酶反应器的基本类型	76
5.4.2	酶反应器的选择	76
5.4.3	酶反应器的操作	77
5.5	酶的应用及酶工程研究新领域	78
5.5.1	酶的应用概述	78
5.5.2	酶工程研究的新领域	79
第6章	蛋白质工程	81
6.1	蛋白质结构基础	81
6.1.1	蛋白质的化学组成	81
6.1.2	蛋白质的结构	82



6.1.3 蛋白质结构与功能的关系	82
6.2 蛋白质工程的研究方法	83
6.2.1 蛋白质工程的研究的一般步骤	84
6.2.2 蛋白质的纯化	84
6.2.3 蛋白质的分子设计	84
6.2.4 蛋白质工程与基因工程	85
6.3 定位诱变技术在蛋白质工程中的应用	85
6.3.1 提高 T4 溶菌酶的热稳定性	85
6.3.2 提高重组 β 干扰素的专一活性与稳定性	86
6.3.3 胰岛素的蛋白质工程	86
6.4 蛋白质工程展望	87
第 7 章 生物技术与医药	89
7.1 天然药物制药	89
7.1.1 动植物来源的药物	89
7.1.2 微生物来源的药物	90
7.1.3 天然海洋药物	90
7.2 DNA 诊断	91
7.2.1 DNA 诊断概念与特点	91
7.2.2 DNA 诊断在遗传性疾病中的应用	91
7.2.3 产前 DNA 诊断	93
7.2.4 DNA 诊断在恶性肿瘤中的应用	94
7.2.5 DNA 诊断在感染性疾病中的应用	94
7.2.6 基因检测——21 世纪预防医学最伟大的发明	94
7.2.7 DNA 芯片(DNA chip)	96
7.3 基因工程制药	96
7.3.1 激素和多肽类	97
7.3.2 酶类	97
7.3.3 疫苗	97
7.3.4 单克隆抗体	98
7.4 基因治疗	99
7.4.1 基因治疗概述	99
7.4.2 基因治疗的策略	100
7.4.3 遗传性疾病的基因治疗	100
7.4.4 肿瘤的基因治疗	101



7.4.5	神经系统疾病的基因治疗	101
7.4.6	反义疗法	102
7.4.7	自杀基因疗法	102
7.5	DNA 指纹鉴定	103
7.6	干细胞技术与治疗性克隆	103
7.6.1	干细胞技术	103
7.6.2	治疗性克隆	104
7.7	人类基因组计划	105
第 8 章	生物技术与农业	107
8.1	农业植物生物技术	107
8.1.1	植物组织培养技术在农业上的应用	107
8.1.2	细胞融合技术的应用	110
8.1.3	植物转基因育种	111
8.1.4	植物人工种子的研制和应用	114
8.1.5	农作物分子标记辅助育种	115
8.2	农业动物生物技术	117
8.2.1	动物转基因技术与分子育种	117
8.2.2	动物胚胎生物工程	119
8.2.3	动物克隆技术	123
8.2.4	生物技术在动物饲料作物育种及饲料工业上的应用	124
8.3	农业微生物技术	126
8.3.1	微生物肥料	126
8.3.2	生物固氮	127
8.3.3	微生物农药	127
8.3.4	农产品有害残留物质的微生物降解	128
8.3.5	微生物精饲料	129
8.3.6	微生物在粗饲料资源开发上的利用	129
第 9 章	生物技术与食品	131
9.1	生物技术与食品加工	131
9.1.1	蛋白制品加工	131
9.1.2	乳品工业	132
9.1.3	酿造类食品	132
9.1.4	蛋品加工	133
9.1.5	面包烘烤与谷类食品发酵	133



9.2 生物技术与食品贮藏和保鲜	134
9.2.1 生物技术在食品保鲜贮存中的应用	134
9.2.2 生物技术在食品贮藏与保鲜中存在的问题及发展趋势	135
9.3 新型食品原料综合利用	135
9.3.1 生物技术在果蔬综合利用中的应用	135
9.3.2 生物技术在肉制品加工综合利用中的应用	136
9.3.3 生物技术在粮油综合利用中的应用	137
9.4 生物技术在食品分析中的应用	138
9.4.1 检测食品鲜度	138
9.4.2 食品分析中的应用	138
9.5 生物技术与食品添加剂	139
9.5.1 调味剂和香料	139
9.5.2 天然色素的开发	141
9.5.3 生物防腐剂的开发	142
第10章 生物技术与环境保护	144
10.1 环境污染监测与评价的生物技术	144
10.1.1 指示生物在环境监测与评价中的应用	144
10.1.2 核酸探针和 PCR 技术在环境监测与评价中的应用	145
10.2 不同类型污染的生物处理技术	146
10.2.1 污水的生物处理	146
10.2.2 大气污染的生物处理	148
10.2.3 固体废弃物的生物处理	149
10.3 污染环境的生物修复	150
10.3.1 生物修复的方法	151
10.3.2 土壤重金属污染的生物修复技术	151
10.3.3 海洋污染的生物修复技术	153
10.4 环境污染预防的生物技术	155
10.4.1 生物清洁技术	155
10.4.2 可生物降解塑料的开发	156
第11章 生物技术与生物能源	157
11.1 生物质转化燃料乙醇技术	158
11.1.1 生物质转化燃料酒精的技术难点	158
11.1.2 蒸汽爆碎技术	159
11.1.3 纤维素酶的生产和纤维素的水解	159



11.1.4 工程酵母菌的构建	160
11.2 生物柴油	161
11.2.1 生物柴油的主要特征	161
11.2.2 生物柴油的生产方法	161
11.2.3 国外生物柴油的发展状况	162
11.2.4 我国生物柴油的发展状况	163
11.2.5 我国生物柴油的产业化前景	164
11.3 沼气	164
11.3.1 沼气发酵条件	165
11.3.2 发酵工艺	165
11.3.3 沼气综合效益	166
11.4 生物制氢	166
11.4.1 生物产氢	166
11.4.2 氢能发展远景	167
第12章 生物技术与海洋生物开发	169
12.1 海洋生物农业	169
12.1.1 海洋农业	169
12.1.2 海水农业开发	170
12.2 海洋生物药物与保健品	171
12.3 海洋生物能源	172
12.4 海洋生物生产有用物质	173
12.4.1 微生物酶制剂	173
12.4.2 海洋生物毒素	174
12.4.3 海洋生物新材料	174
12.4.4 海洋生物中的新肥料	175
12.5 发展海洋生物工程的前景	175
第13章 现代生物技术的安全性及社会伦理问题	177
13.1 生物技术的安全性	177
13.1.1 生物技术的安全性概念	177
13.1.2 世界各国对生物安全问题的认识和管理	178
13.1.3 关于生物安全的对策和建议	179
13.1.4 生物武器	179
13.2 人类基因组计划与伦理	181
13.2.1 保护基因隐私权,反对基因歧视	182



13.2.2 畸形优生学的死灰复燃.....	183
13.2.3 基因专利转化商品出售的伦理问题.....	183
13.3 动物克隆和人类克隆与伦理.....	184
13.3.1 克隆人的伦理与法律.....	184
13.3.2 利用克隆动物器官进行器官移植的伦理问题.....	185
主要参考文献.....	187



第1章 绪 论

1.1 生物工程与生物技术的含义

21 世纪是生命科学的世纪。而生物工程和生物技术是科技与产业发展的重点,是国际科技和经济竞争的焦点,对于世界经济将产生革命性变革的影响。那么,什么是生物工程和生物技术呢?实际上生物技术来源于生命科学和工程技术的结合,英文名为“biotechnology”,有时也称为生物工程(bioengineering),但也有人认为生物工程就是生物技术的统称,是指运用生物化学、分子生物学、微生物学、遗传学等原理与生化工程相结合来改造或重新设计细胞的遗传特性,培育出新的品种;以工业规模利用现有生物体系,生物化学过程来制造工业产品;换句话说,就是将活的生物体、生物体系或生命过程产业化的过程。

1982 年国际合作及发展组织对生物技术这一名词的定义为:生物技术是应用自然科学及工程学的原理,依靠生物体(微生物、动物、植物体)作为反应器,将物料进行加工并提供产品来为社会服务的技术。

例如,大麦通过酵母发酵过程制成啤酒,就是生物工程;而所用的技术手段就是生物技术。又如克隆“多莉羊”是生物工程;而通过细胞核移植和组织细胞培养技术就是生物技术。所以往往通过各种生物技术方法制成的产品包含了生物工程和生物技术的含义。

较为完整的概念,生物技术就是逐步成为与微生物学、生物化学、化学工程等多学科密切相关的综合性边缘学科的结合,它是以生命科学为基础,利用生物(细胞组织及其组成部分)的特性和功能,设计构建具有预期性能的新物质或新品系,以及与工程原理相结合,加工生产成产品或提供服务的综合性技术。

因此,通常提到的生物技术密切联系到生物工程的内容;而生物工程必然包含有生物技术的具体方法和手段。而运用各种生物技术,最终达到生产成生物工程新产品的目的。

1.2 生物技术的产生

现在我们谈论的生物技术是广义的生物技术,从更广泛的意义上讲,生物技术的历史几乎同人类文明史同时开始,最初农业活动的产生,便是生物技术的起点,



各项与生命活动的改造、改良有关的技术都称为生物技术也未尝不可,于是人们把生物技术大致地分为三个不同的发展阶段:传统生物技术、近代生物技术和现代生物技术。

1.2.1 传统生物技术

“生物技术”这个词最早是由匈牙利工程师 Karl Ereky 于 1917 年提出的,他当时对该名词的定义是指利用甜菜进行大规模养猪,即利用生物将原料转变为产品。实际上生物技术追溯起来已有几千年的历史,如我国古代的酿酒和古埃及的奶酪酿制以及酱油、醋、白酒、泡菜、红茶、豆腐、腐乳等的生产。

1.2.2 近代生物技术

近代生物技术始于 19 世纪人类有意识地利用微生物进行大规模生产各类产品。当时的发酵产品主要有酒精、乳酸、柠檬酸和蛋白酶等初级代谢产物,有轻工业类的工业酶制剂、酵母、啤酒等;医药类的抗生素,如英国的 Fleming 爵士于 1928 年发现的青霉素是生物技术史上最重要的成果,带动了整个抗生素工业的发展,成为生物技术的支柱产业。此外还有医药类的维生素、甾体激素、医用氨基酸等;农业类的微生物农产品、制剂;化工类的酒精、丙酮、丁醇、味精等;能源类的沼气;环保类的生物治理污染等。20 世纪 50~60 年代,氨基酸成为生物技术产业的新成员,而酶制剂工业又成为生物技术产业的重要组成部分。

1.2.3 现代生物技术

1953 年, Watson 和 Crick 发现 DNA 双螺旋结构,奠定了现代生物技术的基础;1970 年限制性内切酶和 DNA 连接酶等工具酶的发现,使 DNA 重组成为现实。从此,生物技术取得了迅速发展,成为一门分支多、涉及多学科的综合技术,在农业、医药、轻工业、食品、环保、海洋、采矿、冶金、材料和能源等方面得到广泛的应用,特别是医药方面的生物技术成果显著,大量与人类疾病相关的基因已得到克隆和表达,多种基因药物和疫苗在治疗和预防传染性、难治性疾病方面取得了显著成绩。干扰素、白细胞介素、粒细胞集落刺激因子、促红细胞生成素、乙肝疫苗、甲肝疫苗等现代医药生物技术产品,分别对治疗、预防肝炎、癌症和再生障碍性贫血有显著疗效;干细胞研究、基因治疗及生物信息技术也取得一系列重要成就。此外,农业生物技术的成就突出,在提高作物的抗病、抗虫、抗逆和品质改良方面发挥了重要作用,目前世界各国已批准了数以千计的转基因作物进行大规模试验,上市的种类也不少……生物技术已经成为 21 世纪最热门的领域之一。

1.3 生物工程技术的基本内容

生物工程技术是一门综合性的新兴学科,根据其应用产品操作对象及操作技术的不同,生物工程技术主要包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和蛋白质



工程等五项工程技术。

1.3.1 基因工程

基因工程是20世纪70年代以后兴起的一门新技术,其主要原理是应用人工方法,把生物的遗传物质脱氧核糖核酸(DNA)分离出来,在体外进行切割、拼接和重组,然后将含有目的基因的重组了的DNA导入某种宿主细胞或个体,从而改变它们的遗传特性,有时还能使新的遗传信息在新的宿主细胞或个体中大量表达,以获得基因产物(多肽或蛋白质)。这种制造新的生物并给予特殊功能的技术称为基因工程,也称为DNA重组技术。

1.3.2 细胞工程

细胞工程是指以细胞为基本单位,在体外条件下进行培养、繁殖,或人为地使细胞的某些生物学特性按人们的意愿发生改变,从而得到改良生物品种和制造新品种,加速繁育动、植物个体或获得某种有用的物质的过程。所以,细胞工程应包括动、植物细胞的体外培养技术,细胞融合技术(即细胞杂交技术),细胞器移植技术以及克隆技术和干细胞技术等。

1.3.3 酶工程

酶工程是利用酶、细胞器或细胞所具有的特异催化功能,或对酶进行修饰改造,并借助生物反应器和工艺过程来生产人类所需产品的技术,主要包括酶的固定化技术,细胞固定化技术,酶的修饰改造技术及酶反应器的设计等技术。

1.3.4 发酵工程

发酵工程是指利用微生物生长速度快,生长条件简单及其代谢过程特殊等特点,在合适的条件下,通过现代化工程技术手段,由微生物的某种特定功能生产出人类所需的产品,有时也称微生物工程或叫微生物发酵工程。

1.3.5 蛋白质工程

蛋白质工程是在基因工程的基础上,结合蛋白质结晶学、计算机辅助设计和蛋白质化学等多学科的基础知识,通过对基因的人工定向改造等手段,从而达到对蛋白质进行修饰、改造、拼接以产生能满足人类需要的新型蛋白质的技术。

1.3.6 五大生物工程技术之间的关系

以上五项生物工程技术,并不是各自独立的。它们彼此之间是互相联系、互相渗透的,其中以基因工程技术为核心技术,它能带动其他技术的发展。譬如通过基因工程对细菌或细胞改造后获得的工程菌或细胞,都必须分别通过发酵工程或细胞工程来生产有用的物质;同样可以通过基因工程技术对酶进行改造以增加酶的产量,提高酶的稳定性以及酶的催化效率等,它们之间的关系见图1-1。

总之,基因工程技术是生物工程技术中的核心技术,它向人们提供了一种全新的技术手段,使人们可以按照意愿在试管内切割DNA,分离基因并经重组后导入其他生物或细胞,借以改造农作物或畜牧品种;也可导入细菌这种简单生物体,由

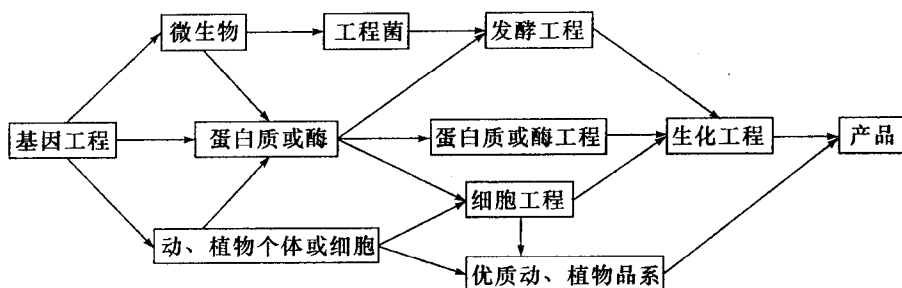


图 1-1 现代生物工程技术五大工程技术之间的相互关系(引自程备久等,2003)

细菌生产大量有用的蛋白质,作为药物或疫苗;也可以直接导入体内进行基因治疗。显然,基因工程作为核心,带动了现代发酵工程、酶工程、细胞工程及蛋白质工程的发展,形成了具有划时代意义和战略价值的现代生物技术。

1.4 生物技术涉及的学科及其技术

现代生物技术是自然科学领域中涵盖范围最广的学科之一,它以分子生物学、细胞生物学、微生物学、免疫学、生理学、生物化学、生物物理学、遗传学等几乎所有生物学科的次级学科为支撑,又结合了诸如化学、化学工程学、数学、物理、微电子技术、计算机科学等生物学领域之外的尖端基础学科,从而形成了一门学科互相渗透的综合性学科,其中以生命科学领域的重大理论和技术的突破为基础。例如,没有 DNA 双螺旋结构及其复制模式的阐明,没有遗传密码的破译及 DNA 与蛋白质关系等理论上的突破,没有 DNA 限制性内切酶、DNA 连接酶等工具酶的发现,就不可能有基因工程技术的出现;没有动、植物细胞培养的方法以及细胞融合方法的建立,就不可能有细胞工程的出现;没有蛋白质结晶技术及蛋白质三维结构的深入研究以及化工技术的进步,就不可能有酶工程和蛋白质工程的产生;没有生物反应器、生物传感器以及自动化控制技术的应用,就不可能有现代发酵工程的出现;没有计算机科学及信息技术等的发展,就不

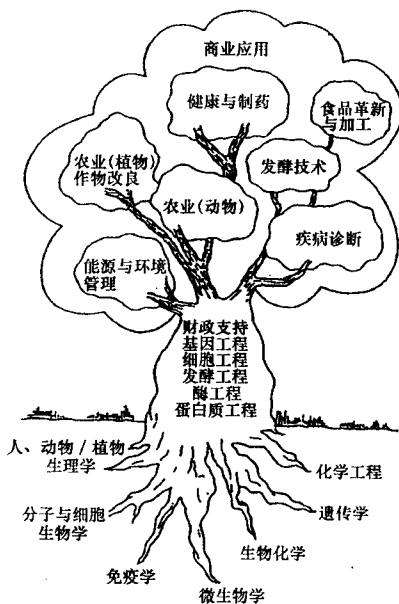


图 1-2 生物技术树(引自宋思扬等,2002)

没有生物反应器、生物传感器以及自动化控制技术的应用,就不可能有现代发酵工程的出现;没有计算机科学及信息技术等的发展,就不