



面向二十一世纪课程教材

# 生物化学 工程基础

*Biochemical Engineering Fundamentals*

李再资 编

化学工业出版社



面向二十一世纪课程教材

# 生物化学工程基础

李再资 编

化学工业出版社  
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学工程基础/李再资编. —北京: 化学工业出版社, 1999  
面向二十一世纪课程教材  
ISBN 7-5025-2500-9

I . 生… II . 李… III . 生物化学-化学工程-教材  
IV . Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 63848 号

---

面向二十一世纪课程教材

**生物化学工程基础**

李再资 编

责任编辑: 骆文敏 赵玉清

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 田彦文

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$  彩插 2 字数 210 千字

1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-2500-9/G·667

定 价: 20.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 内 容 提 要

本书以工程应用为背景，以生物化学的基本原理为主线，以非生物专业学生学习基本的生物技术知识为目的，将生物技术所涉及到的微生物学、细胞工程、基因工程、酶工程、发酵工程及生化反应工程等相关内容及生物学科的最新进展有机的融合、整理、汇编，既注意删繁就简，又有一定的深度和广度。本书体系新颖、内容全面、语言通顺、简明、理论与应用并重。全书内容分为七章：绪论；工业微生物学基础；代谢作用与发酵；遗传的分子基础与基因工程；酶与酶工程；生物反应器；生物技术的工程应用。

本书可作为高等学校工科非生物专业普及生物技术基础知识的教材或教学参考书，也可供相关技术人员参考。

## 前 言

生物技术作为高新技术领域之一，正以巨大的活力改变着传统的社会生产方式和产业结构。生物技术对于提高国力以迎接人口增长所面临的食物、资源、能源和环境等挑战是至为重要的关键技术。国内外科学家纷纷预言 21 世纪是生物学的世纪，因此，时代要求非生物类专业的学生必须掌握一定的生物技术基础知识。早在 1993 年全国化学工程专业教学指导委员会福州会议上就决定化学工程专业必须开设生物化学基础课。教育部“面向 21 世纪化工类专业人才培养方案及课程内容体系改革研究与实践”重点研究课题组也将生物化学内容列入化工类专业必修课内容之一。近年来有的院校已将生物技术知识的教学纳入公共基础课程教学计划之中。

生物化学和微生物学是生物技术的基础，现代生物技术本身又包含了基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和生化工程等相互紧密联系的分支学科，对非生物专业的学生一一开出这些课程是不可能的，因此编写一本内容全面、难度适中，适于非生物专业学生学习生物技术基础知识的简明综合性教材十分必要，本书就为适应这一要求而编写的。

现代生物技术是在分子生物学的基础上发展起来的，而生物化学又是分子生物学的基础与核心，所以本教材是在工程应用的背景下，以生物化学的基本原理为主线，尽可能把生物技术所涉及到的各学科的相关内容以及生物学的一些新进展有机地融合进去，进行精炼、汇编，既注意删繁就简，又保证一定的深度和广度，力求反映学科的现代特点。本书注重理论联系实际，除各章内容尽可能结合实际外，还专设一章讲述生物技术的工程应用。在内容选取、文字叙述上尽量符合非生物专业人员的特点和需要。

本书的选题是在教育部“面向 21 世纪化工类专业人才培养方案及课程内容体系改革的研究与实践”的研究课题组指导下进行的；在编写过程中得到了化学工业出版社的大力支持；在成书过程中，姚汝华教授审阅了全书；何启珍同志在绘图、打印、校对等大量烦琐工作中付出了辛勤的劳动；此外，董新法、黄肖蓉、陈砺、张军等同志也对本书的内容提出了宝贵的意见，在此谨向他们致以诚挚的谢意。

1999 年 5 月在广州，由全国化学工程与工艺专业教学指导委员会聘请专家组成的评审组对书稿进行了认真的审阅。参加会议的专家有：华东理工大学严希康教授、天津大学元英进教授、华南理工大学姚汝华教授、中山大

学许实波教授及化学工业出版社编辑。与会同志以极其认真的态度审阅了书稿，提出了许多宝贵的修改意见，并认为：该书体系新颖，相关内容全面，深入浅出，理论联系实际，能反映现代生物技术的特点，有相应配套的 CAI 教学软件，适合作非生物类工科专业学生学习生物技术基础知识的教材。本书经教育部最后审定为“面向 21 世纪课程教材”。

由于编者水平所限，缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1999 年 7 月

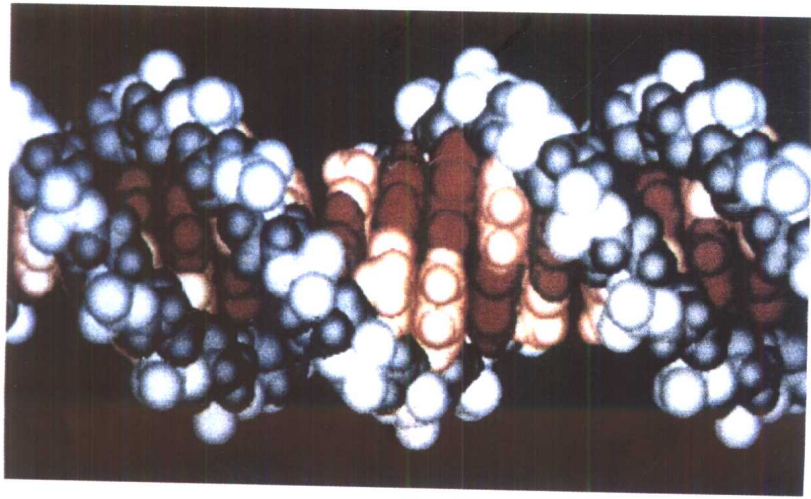


图 4-4 DNA 双螺旋立体结构模型



图 4-14 世界上第一只体细胞克隆哺乳动物——绵羊“多莉”及其代母





图 4-18 我国第一只胚胎细胞克隆牛

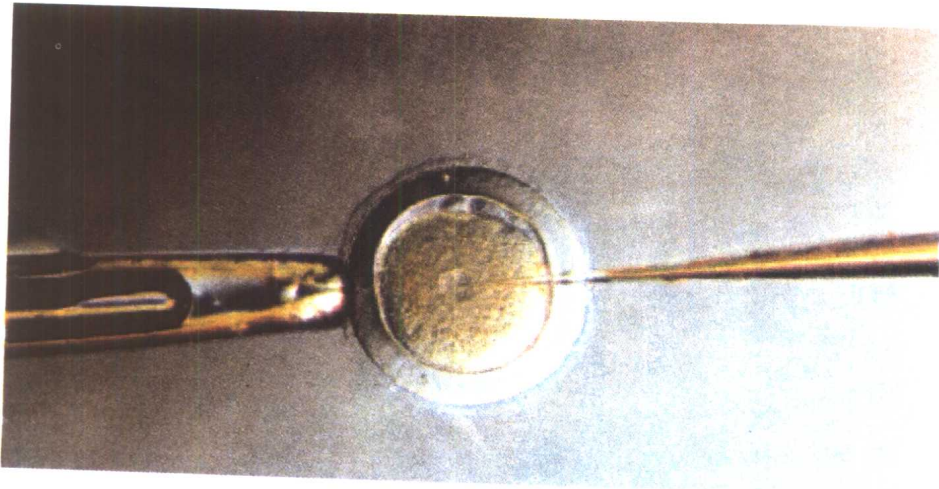


图 4-21 外源基因注入受精卵





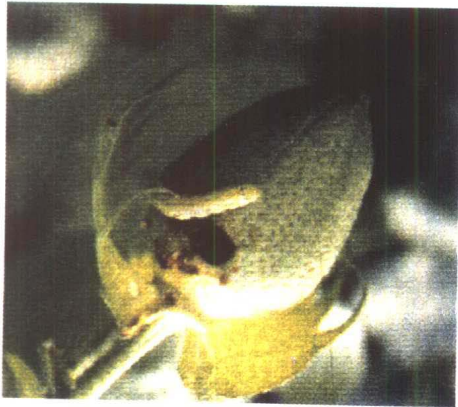
图 4-22 转基因鼠生长比同胞快一倍



图 4-23 我国构建成功的首批转基因山羊



图 4-24 我国构建成功的首头转基因牛



(a)



(b)

图 7-5 未转抗虫基因与转抗虫基因棉花比较

(a) 未转基因棉花，虫体发育正常，棉桃打洞受损；(b) 转基因棉花，棉桃仅皮受损，虫体中毒死亡

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
一、生物技术与生物化学工程.....	1
二、生物反应过程的特点.....	2
三、生物技术在国民经济中的重要地位.....	3
四、本课程的内容组成.....	4
<b>第二章 工业微生物学基础</b> .....	7
第一节 微生物的特点.....	7
第二节 工业生产中常见的微生物.....	9
一、细菌.....	10
二、放线菌.....	12
三、酵母菌.....	13
四、霉菌.....	14
五、病毒.....	15
第三节 微生物菌种的分离选育与保藏.....	16
一、微生物菌种的分离.....	16
二、诱变育种.....	17
三、原生质体融合技术.....	18
四、菌种保藏.....	20
第四节 微生物的营养.....	21
一、微生物的营养类型.....	21
二、微生物的营养基质.....	22
三、微生物的培养基.....	24
四、微生物对营养物质的吸收.....	26
第五节 影响微生物生长发育的因素.....	26
第六节 微生物的培养.....	30
一、微生物的培养方法.....	31
二、微生物的分批培养.....	31
三、微生物的连续培养.....	36
四、微生物的补料分批培养.....	41
第七节 灭菌技术.....	41

一、灭菌方法 .....	42
二、微生物的死亡速率 .....	42
三、培养基灭菌 .....	44
四、空气除菌 .....	46
思考题 .....	48
<b>第三章 代谢作用与发酵 .....</b>	<b>50</b>
第一节 概述 .....	50
第二节 生物的能量代谢 .....	51
一、能量代谢的热力学原理 .....	51
二、能量传递媒介 .....	52
第三节 糖类化学 .....	54
一、单糖 .....	54
二、寡糖 .....	56
三、多糖 .....	56
四、复合糖 .....	58
第四节 糖酵解与厌氧发酵 .....	58
一、糖酵解途径 .....	58
二、厌氧发酵 (EMP 型发酵) .....	61
第五节 三羧酸循环与好氧发酵 .....	62
一、EMP-TCA 之间的桥梁 .....	63
二、三羧酸循环途径 .....	63
三、好氧发酵 .....	65
第六节 糖类、脂类和蛋白质代谢的相互关系 .....	67
思考题 .....	69
<b>第四章 遗传的分子基础与基因工程 .....</b>	<b>70</b>
第一节 遗传变异的物质基础 .....	70
一、遗传物质的确定 .....	70
二、脱氧核糖核酸 DNA 的化学组成 .....	71
三、DNA 的双螺旋结构 .....	73
四、DNA 的复制 .....	76
第二节 遗传功能单位——基因 .....	76
第三节 基因的表达功能 .....	77
一、RNA 的转录 .....	78
二、蛋白质的生物合成 .....	79
三、基因突变 .....	82

第四节	DNA 重组技术的基本过程	82
一、	目的基因的制取	83
二、	基因载体的选取	83
三、	DNA 的体外重组	83
四、	DNA 重组体导入受体细胞	84
第五节	基因工程菌的应用	84
一、	医药工业	85
二、	食品与化学工业	86
三、	环境保护	87
第六节	克隆技术	87
一、	克隆含义	87
二、	国内外克隆研究概况	87
三、	胚胎细胞克隆与体细胞克隆	89
四、	转基因动物克隆	91
五、	克隆技术的应用前景	92
	思考题	93
<b>第五章</b>	<b>酶与酶工程</b>	<b>94</b>
第一节	概述	94
第二节	酶的分类与命名	94
一、	酶的分类	94
二、	酶的命名	97
第三节	酶与固定化酶的生产	98
一、	酶的发酵技术	98
二、	酶的工业提取	102
三、	酶的固定化	104
四、	细胞的固定化	107
五、	酶的修饰	108
第四节	酶的应用	108
一、	几种工业常用酶	108
二、	酶在食品工业中的应用	111
三、	酶在轻化工业中的应用	111
四、	酶在医疗业中的应用	113
第五节	酶的化学本质	114
一、	蛋白质的基本组成单位—— $\alpha$ -氨基酸	114
二、	蛋白质的化学结构	116

三、酶的组成	119
第六节 酶的催化作用	120
一、酶催化作用的特点	120
二、酶催化作用机制	121
第七节 酶催化反应动力学	127
一、底物浓度对酶催化反应速度的影响	127
二、温度对酶催化反应速度的影响	132
三、pH值对酶催化反应速度的影响	133
四、激活剂对酶催化反应速度的影响	133
五、抑制剂对酶催化反应速度的影响	133
思考题	137
<b>第六章 生物反应器</b>	<b>139</b>
第一节 生物反应器的基本工程概念	139
一、生物反应器类型	139
二、生物反应器设计内容与开发趋势	139
第二节 生物反应器设计计算基础	141
一、生物反应器内流体流动与混合	141
二、间歇罐式反应器计算	142
三、平推流管式反应器计算	143
四、全混流罐式反应器计算	144
第三节 微生物反应器	145
一、机械搅拌通气式发酵罐	146
二、自吸式发酵罐	148
三、鼓泡式发酵罐	148
四、环流式发酵罐	149
五、连续管道发酵器	150
第四节 酶反应器	151
一、间歇式酶反应器	151
二、连续搅拌罐式酶反应器	151
三、固定床酶反应器	152
四、流化床酶反应器	153
五、膜式酶反应器	153
思考题	154
<b>第七章 生物技术的工程应用</b>	<b>155</b>
第一节 传统生物技术产品的生产	155



一、氨基酸发酵生产·····	155
二、有机酸发酵生产·····	159
三、酒精发酵生产·····	163
第二节 单细胞蛋白发酵生产·····	165
一、单细胞蛋白生产的特点·····	165
二、单细胞蛋白的发酵生产·····	166
第三节 抗生素的发酵生产·····	169
一、概述·····	169
二、抗生素的应用·····	169
三、抗生素的生产工艺·····	171
第四节 转基因植物与植物细胞培养·····	172
一、转基因植物·····	172
二、植物细胞和组织的大规模培养·····	174
第五节 动物细胞培养与单克隆抗体生产·····	176
一、动物细胞的大规模培养·····	176
二、单克隆抗体的生产与应用·····	177
第六节 海洋生物活性物质的开发·····	179
一、海洋药物的开发·····	180
二、海洋功能食品的开发·····	181
第七节 基因工程药物与基因治疗·····	182
一、基因工程药物·····	182
二、基因治疗·····	184
第八节 污水的生化处理·····	185
一、好氧生化处理·····	185
二、厌氧生化处理·····	189
<b>参考文献</b> ·····	<b>191</b>

# 第一章 绪 论

## 一、生物技术与生物化学工程

“生物技术”一词译自英文 biotechnology，也有译作“生物工程”或“生物工艺学”的。生物技术的定义多种多样，如“生物技术是应用自然科学及工程学原理，依靠生物催化剂的作用将物料进行加工，以提供产品或为社会服务”；“生物技术是工业规模开发生物细胞及其组分潜在用途的技术”；“生物技术是应用生命科学及某些工程原理操纵生命的一门综合性技术学科”；“生物技术是以生物化学、生物学、微生物学和化学工程学应用于生产过程（包括医药卫生、能源及农业的产品）及环境保护的技术”等等。这些定义的说法不完全一样，但内容基本上是一致的，归纳起来有三点：①生物技术是一门多学科、综合性的科学技术；②过程中需要生物催化剂的参与；③其最终目的是建立工业生产过程或进行社会服务。

与生物技术相关的学科很多，但从基础学科讲，主要是生物学、化学和工程学。它们之间的关系可形象地表示于图 1-1 中。

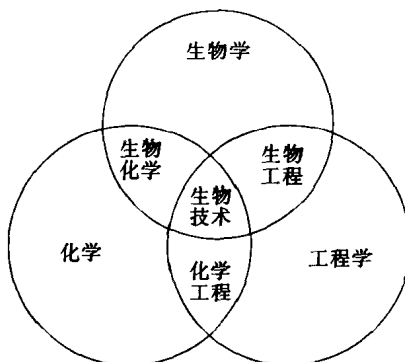


图 1-1 生物技术的多学科性示意图

生物技术源远流长，我国在龙山文化时期（距今 4000 多年）酿酒技术已相当精湛，这就是古老的生物技术。但生物技术发生质的飞跃是以 20 世纪 70 年代 DNA 重组技术的问世为标志，自此以后，细胞融合技术、单克隆抗体技术、酶与细胞固定化技术、动植物细胞大规模培养技术、转基因生物技术、体细胞克隆技术等相继出现，使现代生物技术面貌焕然一新。

现代生物技术已成为当代生物科学研究和开发的主流。一般认为，现代生物技术主要包括基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程。这些生物工程技术是相互渗透、相互交融的，而基因工程在其中处于主导地位。

生物化学工程（Biochemical Engineering）简称生化工程，是为生物技术服务的化学工程。它是利用化学工程原理和方法对实验室所取得的生物技术成果加以开发，使之成为生物反应过程的一门学科。所以可以把生化工程看

成是化学工程的一个分支，也可以认为是生物工程的一个重要组成部分。因此，有人把生化工程融入前述的现代生物技术包括的四大工程之中，也有人把生化工程单独列出，而认为现代生物技术包括的主要方面是基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和生化工程。

## 二、生物反应过程的特点

凡由生物工程所引出的生产过程，可称为生物反应过程 (bioprocess)。它可用图 1-2 所示的流程表示。

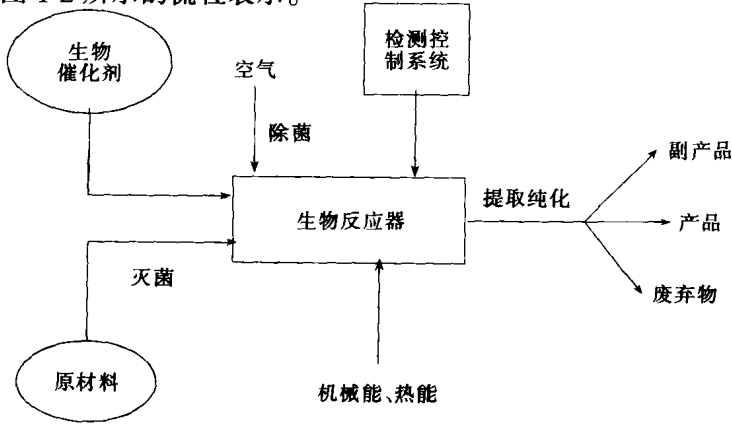


图 1-2 生物反应过程示意图

生物反应过程实质上是利用生物催化剂以从事生物技术产品的生产过程。生物催化剂可以是微生物、动物、植物的整体细胞，也可以是从细胞中提取出来的酶 (enzyme)。它们可以游离的形式使用，也可以采用固定化技术将其固定在多孔介质表面后再使用。

在生物反应过程中，若采用活细胞（包括微生物、动物、植物细胞）为生物催化剂，称为发酵或细胞培养过程，若生物催化剂采用游离或固定化酶则称为酶反应过程。两者的区别在于在发酵过程中除得到反应产品外，还可得到更多的生物细胞，而在酶反应过程中，酶不会增长。

19 世纪以著名生物学家巴斯德 (Pasteur) 为代表的一些人曾坚持由糖变为酒精的发酵过程是活细胞在起作用，即把发酵和某些特殊微生物的生命活动联系起来；而毕希纳 (Buchner) 等人却发现磨碎了的酵母（不可能含有活细胞）仍能使糖发酵形成酒精，即认为发酵是由一些活细胞产生的非生命物质所引起的，这些具有发酵能力的非生命物质被称之为酶。大量的事实证明后者的观点是正确的。上述两类反应过程，从催化作用的实质看是没有什么区别的，利用活生物细胞作为催化剂的发酵生化反应，其实质也是通过生物细胞内部的酶起催化作用。可见，酶催化作用是生化反应的核心，没有酶的作用，任何生物反应过程都是不可能实现的，甚至一切生命都不可能