



全国高等农林院校生物科学类  
专业“十二五”规划系列教材



普通高等教育农业部“十二五”规划教材

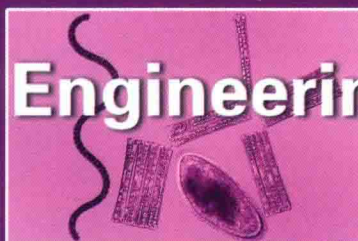


高等农林教育“十三五”规划教材

# 发酵工程

宋渊 主编

Fermentation Engineering



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



全国高等农林院校生物科学类  
专业“十二五”规划系列教材



普通高等教育农业部“十二五”规划教材

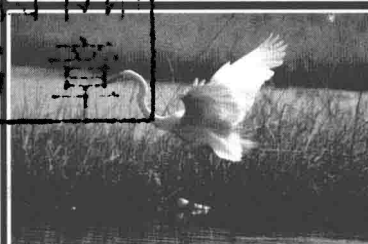
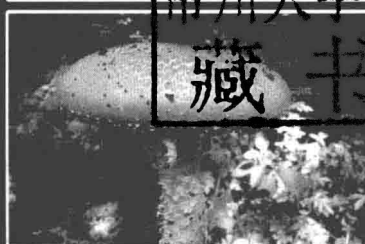
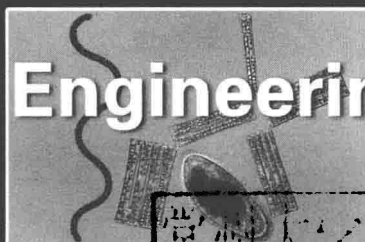


高等农林教育“十三五”规划教材

# 发酵工程

宋渊 主编

Fermentation Engineering



常州大学图书馆  
藏书章



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本教材主要分为两大部分,第1~10章是通识部分,介绍发酵的菌种、发酵方式、发酵培养基及原料处理、发酵动力学、微生物代谢调节和发酵控制、发酵产物的提取等基础知识;也对发酵的基本设备,发酵罐和获得无菌空气的相关设备,提取、浓缩、干燥等后处理设备进行了简要介绍。第11~18章是各论部分,主要是介绍有代表性的发酵产品,发酵生产方式既有固体发酵,也有液体发酵;既有好氧发酵,也有厌氧发酵;既有现代发酵技术,也有传统发酵技术。

本教材可作为大专院校生物科学、生物技术、生物工程等专业的教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

发酵工程/宋渊主编.—北京:中国农业大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5655-1769-3

I. ①发… II. ①宋… III. ①发酵工程-高等学校-教材 IV. ①TQ92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 323882 号

书 名 发酵工程

作 者 宋 渊 主 编

策划编辑 孙 勇 潘晓丽

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 23.75 印张 590 千字

定 价 50.00 元

责任编辑 韩元凤

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

E-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

图书如有质量问题本社发行部负责调换

全国高等农林院校生物科学类专业“十二五”规划系列教材  
编审指导委员会  
(按姓氏拼音排序)

姓 名	所 在 院 校	姓 名	所 在 院 校
蔡庆生	南京农业大学	刘国琴	中国农业大学
蔡永萍	安徽农业大学	刘洪章	吉林农业大学
苍 晶	东北农业大学	彭立新	天津农学院
曹贵方	内蒙古农业大学	秦 利	沈阳农业大学
陈雯莉	华中农业大学	史国安	河南科技大学
董金皋	河北农业大学	宋 渊	中国农业大学
冯玉龙	沈阳农业大学	王金胜	山西农业大学
郭 蓓	北京农学院	吴建宇	河南农业大学
郭立忠	青岛农业大学	吴晓玉	江西农业大学
郭图强	塔里木大学	殷学贵	广东海洋大学
郭兴启	山东农业大学	余丽芸	黑龙江八一农垦大学
郭玉华	沈阳农业大学	张 炜	南京农业大学
李 唯	甘肃农业大学	赵 钢	仲恺农业工程学院
林家栋	中国农业大学	赵国芬	内蒙古农业大学

## 编审人员

主 编 宋 渊

副 主 编 王彦杰 张利环

编 者 (按姓氏拼音排序)

范志华(天津农学院)

高爱丽(东北农业大学)

巩 培(内蒙古农业大学)

郭伟群(国家粮食局科学研究院)

黄海东(天津农学院)

贾丽艳(山西农业大学)

罗 华(山西农业大学)

双 宝(东北农业大学)

宋 渊(中国农业大学)

王 君(山西农业大学)

王彦杰(黑龙江八一农垦大学)

许 女(山西农业大学)

晏 磊(黑龙江八一农垦大学)

张 宝(江西农业大学)

张利环(山西农业大学)

主 审 颜方贵(中国农业大学)



## 出版说明

生物学是近几十年来发展最为迅速的学科之一,它给人类的生产和生活带来巨大变化,尤其在农业和医学领域更是带来了革命性的变革。生物科学与各个学科之间、生物科学各个分支学科之间的广泛渗透,相互交叉,相互作用,极大地推动了生物科学技术进步。生物科学理论和方法的丰富和发展,在持续推动传统农业和医学创新的同时,其应用领域不断扩大,广泛应用的领域已包括食品、化工、环保、能源和冶金工业等各个方面。仿生学的应用还对电子技术和信息技术产生了巨大影响。生物防治、生物固氮等生物技术的应用,极大地改变了农业过分依赖石化工业的局面,继而为自然生态平衡的恢复做出无可替代的贡献。以大量消耗资源为依赖的传统农业被以生物科学和技术为基础的生态农业所替代和转变。新的、大规模的近现代农业将由于生物科学的快速发展而迅速崛起。

生物学在农业领域中越来越广泛的应用,以及不可替代作用的发挥,既促进了生物科学教育的发展,也为生物科学教育提出了新的更高的要求。农业领域高素质、应用型人才对生物科学类专业的需求具有自身独特的使命和特征。作为培养高素质、应用型人才重要途径和方式的农业高等教育亟须探索出符合实际需求和发展的教育教学模式和内容。为此,中国农业大学生物学院和中国农业大学出版社与全国30余所高等农林院校合作,在充分汲取各校生物科学类专业教改实践经验和教改成果的基础上,经过进一步集成、融合、优化、提升,凝聚形成了比较符合农林院校教学实际、适应性更好、针对性更强、教学效果更佳的教学理念和教材编写思路,进而精心打造了“全国高等农林院校生物科学类专业‘十二五’规划系列教材”。系列教材覆盖了近30门生物科学类专业骨干课程。

本系列教材站在生物科学类专业教育教学整体目标的高度,以学科知识内容关联性为依据,审核确定教材品种和教材内容,通过相关课程教材小规模组合、专家交叉多重审定、编审指导委员会统一把关等措施,统筹解决相关教材内容衔接问题;以统一的编写指导思想因课制宜确定各门课程教材的编写体例和形式。因此,本系列教材主导思想整体归一、各种教材各具特色。

农业是生物科学最早也是应用范围最广的领域,其厚重的实践积累和丰硕成果使得农业高等教育生物科学类专业教学独具特色和更高要求。本系列教材比较好地体现了农业领域生物科学应用的重要成果和前沿研究成就,并考虑到农林院校生源特点、教学条件等,因而具有很强的适用性、针对性和前瞻性。

系列教材编审指导委员会在教材品种的确定、内容的筛选、编写指导思想以及质量把关等环节中发挥了巨大作用。其组成专家具有广泛的院校代表性、学科互补性和学术权威性,以及

丰富的教学科研经验。专家们认真细致的工作为将系列教材打造成为农林院校生物科学类专业精品教材奠定了扎实的基础,在此谨致深深谢意。

作为重点规划教材,为准确把握教学需求,突出特色和确保质量,教材的策划运行被赋予更为充分的时间,从选题调研、品种筛选、编写大纲的拟制与审定、组织教师编写书稿,直至第一种教材出版至少3年时间,按照拟定计划主要品种的面世需近4年。系列教材的运行经过了几个阶段。第一个阶段,对农林院校生物科学教学现状进行深入的调查研究。2010—2011年,出版社用了近1年的时间,先后多批次走访了近30所院校,与数百位生物科学教学一线的专家和教师进行座谈,深入了解我国高等农林院校生物科学教学的进展状况及存在的问题。第二个阶段,召开教学和教材建设研讨会。2011年12月份,中国农业大学生物学院和中国农业大学出版社组织召开了有30余所院校、100余位教师参加的生物教学研讨会,与会代表就农林院校生物科学类专业教学和教材建设问题进行了广泛和深入的研讨,会上还组织参观了中国农业大学生物学院教学中心、国家级生命科学实验教学示范中心以及两个国家重点实验室,给与会代表留下了深刻的印象和较大的启发。第三个阶段,教材立项编写。在广泛达成共识的基础上,有30多所高等农林院校、近500人次教师参加了系列教材的编写工作。从2013年4月起,系列教材将陆续出版,希望这套凝聚了广大教师智慧、具有较强的创新性、反映各校教改探索实践经验与成果系列教材能够对农林院校生物科学类专业教育教学质量的提高发挥良好的作用。

良好的愿望和教学效果需要实践的检验和印证。我们热切地期待着您的意见反馈。

中国农业大学生物学院

中国农业大学出版社

2013年3月



# 前 言

发酵工程是生物工程的重要组成部分,是一门具有悠久历史又融合了现代科学和工程的学科。发酵工程技术与我们的生产、生活密切相关,在食品、医药、化工、农业、冶金、环境等领域具有广泛应用。

发酵工程是一门涉及面极其广泛的课程,不同学科专业对此课程有不同的要求。本次编写的《发酵工程》着重于现代工业发酵技术,内容包括发酵的基本理论知识,如发酵培养的方式、发酵动力学、微生物的代谢调节、发酵工业的菌种培养、原料处理及发酵过程的控制等。也针对发酵产物的特点,介绍了工业上常用的发酵液预处理、产物分离和提取的方法。在此基础上,根据发酵培养方式等的不同,选择典型、代表性的发酵产品进行介绍,如酒精发酵和丙酮-丁醇发酵是产溶剂的厌氧发酵;有机酸、氨基酸等是初级代谢产物的好氧发酵;抗生素是次级代谢产物的好氧发酵;酶制剂是活性蛋白的发酵等。酒是我们生活中不可或缺的产品,但发酵方式特殊,如中国白酒是混菌发酵,并且是固体发酵的方式,因此也进行了介绍。发酵、产物提取离不开设备,教材中也对主要的发酵和提取设备进行了介绍。

参加本书编写的作者都是长期从事发酵工程技术教学或研究工作的教师和技术人员。天津农学院范志华编写第 11 章,东北农业大学高爱丽编写第 9 章,内蒙古农业大学巩培编写第 6 章和第 17 章,国家粮食局科学研究院郭伟群编写第 10 章和第 16 章,天津农学院黄海东编写第 5 章,山西农业大学贾丽艳编写第 18 章,山西农业大学罗华编写第 3 章,东北农业大学双宝编写第 14 章,中国农业大学宋渊编写第 1 章和第 12 章,山西农业大学王君编写第 15 章,黑龙江八一农垦大学王彦杰编写第 7 章和第 6 章的培养基灭菌部分,山西农业大学许女编写第 13 章,黑龙江八一农垦大学晏磊编写第 2 章,江西农业大学张宝编写第 8 章,山西农业大学张利环编写第 4 章。全书由宋渊、王彦杰、张利环统稿。

教材在编写过程中,引用了一些相关的书刊和网站资料,颜方贵教授对书稿进行了审定,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,作者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便今后进一步修订完善。

编 者

2016 年 9 月





# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 发酵与发酵工程	1
1.2 发酵产物的类型	1
1.2.1 微生物菌体	2
1.2.2 代谢产物	2
1.2.3 酶	3
1.3 发酵工程的范畴与应用	3
1.3.1 发酵工程的范畴	3
1.3.2 发酵工程的应用	3
1.4 发酵工程发展的主要阶段	5
第 2 章 发酵培养方式	7
2.1 固体发酵和液体发酵	7
2.1.1 固体发酵	7
2.1.2 液体发酵	9
2.2 分批发酵和补料分批发酵	10
2.2.1 分批发酵	10
2.2.2 补料分批发酵	11
2.3 连续发酵和半连续发酵	12
2.3.1 连续发酵	12
2.3.2 半连续发酵	14
第 3 章 发酵动力学	15
3.1 分批发酵动力学基本概念	15
3.1.1 发酵过程反应速度的描述	16
3.1.2 质量与能量平衡	17
3.2 分批培养中细胞生长动力学	19
3.2.1 延滞期	19
3.2.2 对数期	20
3.2.3 减速期	22
3.2.4 稳定期	24

3.2.5 衰亡期·····	24
3.3 产物生成动力学·····	25
3.3.1 物料平衡与比速率·····	25
3.3.2 发酵类型(产物生成动力学)·····	26
3.4 基质消耗动力学·····	29
<b>第4章 微生物的代谢调节</b> ·····	<b>31</b>
4.1 微生物代谢·····	31
4.1.1 代谢的概念·····	31
4.1.2 微生物代谢的特点·····	32
4.1.3 微生物代谢的类型·····	33
4.1.4 微生物代谢的自我调节方式·····	34
4.2 微生物代谢的调节控制·····	35
4.2.1 酶合成的调节·····	35
4.2.2 酶活性的调节·····	37
4.2.3 初级代谢的调节·····	40
4.2.4 次级代谢的调节·····	41
4.2.5 营养物的调节·····	43
4.2.6 其他因子的调节·····	44
4.3 代谢控制在工业发酵中的应用·····	45
4.3.1 发酵条件控制·····	45
4.3.2 改变细胞透性·····	46
4.3.3 菌种遗传特性的改变·····	47
<b>第5章 发酵工业的菌种</b> ·····	<b>49</b>
5.1 生产菌种的分离及筛选·····	49
5.1.1 含微生物样品的采集·····	49
5.1.2 材料的预处理·····	50
5.1.3 分离筛选方案的设计·····	53
5.2 高产菌株的选育·····	54
5.2.1 自然选育·····	55
5.2.2 诱变育种·····	55
5.2.3 杂交育种·····	58
5.2.4 原生质体融合技术育种·····	60
5.2.5 基因工程育种·····	61
5.2.6 高通量技术在育种中的应用·····	65
5.3 菌种退化及其防治措施·····	67
5.3.1 菌种退化的原因·····	67
5.3.2 菌种退化的防止措施·····	68
5.4 菌种保藏·····	69
5.4.1 菌种保藏的原理·····	69

5.4.2	菌种保藏的方法	69
5.4.3	国内外主要的菌种保藏机构	70
<b>第6章 发酵工业的培养基及原料处理</b>		<b>73</b>
6.1	发酵生产上使用的培养基及要求	73
6.1.1	斜面培养基	73
6.1.2	孢子培养基	73
6.1.3	种子培养基	74
6.1.4	发酵培养基	74
6.2	培养基的主要原料	75
6.2.1	培养基的成分	76
6.2.2	培养基成分的变化及控制方法	79
6.2.3	影响培养基质量的因素	80
6.3	原料的处理	80
6.3.1	原料处理的目的	81
6.3.2	原料处理的过程	81
6.3.3	淀粉质原料的处理	82
6.3.4	纤维质原料的处理	87
6.3.5	其他原料的处理	90
6.4	培养基的设计与筛选	91
6.4.1	培养基的选择	91
6.4.2	工业发酵培养基原料的选择	92
6.4.3	培养基的优化	93
6.5	培养基的灭菌	96
6.5.1	分批灭菌	96
6.5.2	连续灭菌	97
6.5.3	影响培养基灭菌的因素	99
<b>第7章 空气除菌</b>		<b>102</b>
7.1	发酵对无菌空气的要求及空气除菌的方法	102
7.1.1	发酵对无菌空气的要求	102
7.1.2	空气除菌的方法	103
7.2	过滤除菌的原理及过滤介质	106
7.2.1	过滤除菌的原理	106
7.2.2	过滤介质	109
7.3	过滤除菌的工艺流程及相关设备	111
7.3.1	两级冷却、分离、加热的空气除菌流程	111
7.3.2	过滤除菌相关设备	111
<b>第8章 发酵及过程控制</b>		<b>115</b>
8.1	种子制备工艺及质量控制	115
8.1.1	种子的要求	115

8.1.2	种子制备的工艺流程及对发酵的影响	116
8.1.3	影响种子质量的因素	116
8.2	发酵控制常用代谢参数	117
8.3	基质浓度变化及控制	119
8.3.1	碳源浓度变化及控制	119
8.3.2	氮源浓度变化及控制	120
8.3.3	磷酸盐浓度影响及控制	120
8.4	温度对发酵的影响及控制	121
8.4.1	温度对微生物生长和发酵的影响	121
8.4.2	温度在发酵中的变化规律	122
8.4.3	温度的控制和最适温度选择	122
8.5	溶解氧对发酵的影响及控制	123
8.5.1	溶解氧对发酵的影响	123
8.5.2	微生物对氧的需求	124
8.5.3	影响微生物需氧量的因素	124
8.5.4	发酵液中溶解氧的控制	125
8.6	pH 对发酵的影响及控制	126
8.6.1	pH 对发酵的影响	127
8.6.2	影响 pH 变化的因素	127
8.6.3	pH 在发酵过程中的变化规律	128
8.6.4	发酵最适 pH 与 pH 的控制	128
8.7	CO <sub>2</sub> 对发酵的影响	129
8.7.1	CO <sub>2</sub> 对菌体生长及产物形成的影响	129
8.7.2	CO <sub>2</sub> 与菌体生长的关系	129
8.7.3	CO <sub>2</sub> 与 pH 的关系	129
8.7.4	尾气中 CO <sub>2</sub> 与尾气中 O <sub>2</sub> 之间的关系	129
8.8	泡沫的形成及控制	130
8.8.1	泡沫的危害	130
8.8.2	影响泡沫消长的因素	131
8.8.3	泡沫的消除	131
8.9	染菌分析及控制	132
8.9.1	染菌原因分析	132
8.9.2	防治污染的措施	133
8.9.3	染菌后的挽救措施	134
8.9.4	噬菌体污染与防治	135
<b>第 9 章 发酵产物的提取</b>		137
9.1	发酵产物提取的一般工艺过程	137
9.1.1	发酵液中提取产物的特点	137
9.1.2	提取的原理	138

9.1.3 提取的一般工艺过程 .....	138
9.2 发酵液的预处理及固液分离 .....	139
9.2.1 发酵液的预处理 .....	139
9.2.2 发酵液的固液分离 .....	141
9.3 初步纯化 .....	143
9.3.1 吸附法 .....	143
9.3.2 沉淀法 .....	144
9.3.3 萃取法 .....	146
9.4 高度纯化 .....	149
9.4.1 色谱法 .....	149
9.4.2 膜分离法 .....	152
9.5 成品加工 .....	153
9.5.1 浓缩 .....	153
9.5.2 结晶 .....	153
9.5.3 成品干燥 .....	155
<b>第 10 章 发酵设备和提取设备 .....</b>	<b>159</b>
10.1 发酵设备 .....	159
10.1.1 固体发酵设备 .....	159
10.1.2 液体发酵设备 .....	161
10.2 提取设备 .....	168
10.2.1 固液分离设备 .....	168
10.2.2 溶媒萃取设备 .....	169
10.2.3 浓缩设备 .....	172
10.2.4 干燥设备 .....	173
<b>第 11 章 酒和酒精的发酵生产 .....</b>	<b>174</b>
11.1 酒类概述 .....	174
11.1.1 酒类的起源 .....	174
11.1.2 酒的分类 .....	175
11.1.3 酒的简介 .....	177
11.2 啤酒发酵 .....	179
11.2.1 啤酒生产的历史及种类 .....	179
11.2.2 啤酒酵母 .....	182
11.2.3 啤酒发酵的工艺过程 .....	182
11.2.4 啤酒发酵工艺的改进 .....	188
11.2.5 成品啤酒 .....	189
11.3 白酒酿造 .....	190
11.3.1 中国白酒的种类 .....	191
11.3.2 曲和曲的制造 .....	191
11.3.3 酒母的制备 .....	194

11.3.4	白酒的酿造工艺·····	195
11.3.5	白酒的贮存和勾兑·····	200
11.4	酒精发酵·····	201
11.4.1	淀粉质原料生产酒精·····	201
11.4.2	糖蜜原料生产酒精·····	206
11.4.3	纤维质原料生产酒精·····	209
11.4.4	酒精蒸馏·····	212
<b>第 12 章</b>	<b>丙酮-丁醇发酵生产</b> ·····	<b>215</b>
12.1	丙酮-丁醇的生产方法·····	215
12.1.1	合成法·····	215
12.1.2	发酵法·····	216
12.2	淀粉质原料的丙酮-丁醇发酵·····	216
12.2.1	丙酮-丁醇菌的特性·····	216
12.2.2	淀粉质原料生产丙酮-丁醇的工艺流程·····	218
12.2.3	发酵·····	218
12.2.4	提取·····	220
12.3	糖蜜原料的丙酮-丁醇发酵·····	220
12.4	丙酮-丁醇发酵能力的提高·····	220
<b>第 13 章</b>	<b>有机酸发酵生产</b> ·····	<b>223</b>
13.1	柠檬酸发酵·····	223
13.1.1	柠檬酸发酵生产的菌种·····	223
13.1.2	柠檬酸发酵·····	225
13.1.3	柠檬酸的生物合成与调节·····	229
13.1.4	柠檬酸的提取·····	233
13.2	乳酸发酵·····	238
13.2.1	产乳酸微生物·····	238
13.2.2	乳酸发酵·····	245
13.2.3	乳酸的提取·····	250
<b>第 14 章</b>	<b>氨基酸发酵生产</b> ·····	<b>253</b>
14.1	谷氨酸发酵·····	253
14.1.1	谷氨酸的生产菌种·····	254
14.1.2	谷氨酸的生物合成途径·····	254
14.1.3	谷氨酸生物合成的调节·····	257
14.1.4	生物素对谷氨酸合成的影响·····	258
14.1.5	谷氨酸发酵·····	262
14.1.6	谷氨酸的提取·····	266
14.2	赖氨酸发酵·····	268
14.2.1	赖氨酸发酵的微生物·····	269
14.2.2	赖氨酸生物合成途径与代谢调节·····	271

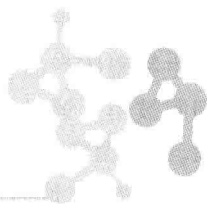


14.2.3	赖氨酸发酵	273
14.2.4	赖氨酸的提取	274
<b>第 15 章</b>	<b>维生素发酵生产</b>	<b>276</b>
15.1	维生素 B <sub>12</sub> 的发酵	277
15.1.1	维生素 B <sub>12</sub> 的结构	279
15.1.2	维生素 B <sub>12</sub> 的生物合成	280
15.1.3	维生素 B <sub>12</sub> 的生产菌	281
15.1.4	维生素 B <sub>12</sub> 的发酵	284
15.1.5	维生素 B <sub>12</sub> 的提取	285
15.2	维生素 B <sub>2</sub> 的发酵	286
15.2.1	维生素 B <sub>2</sub> 的生产菌	286
15.2.2	维生素 B <sub>2</sub> 的发酵	287
15.2.3	维生素 B <sub>2</sub> 的提取	289
15.3	维生素 C 的发酵	290
15.3.1	维生素 C 的生产方法	290
15.3.2	“二步发酵法”生产维生素 C	292
15.3.3	生物合成(发酵)法生产维生素 C 的前景	295
<b>第 16 章</b>	<b>核苷酸类物质的微生物生产</b>	<b>297</b>
16.1	分解法生产核苷酸类物质	298
16.1.1	酵母细胞的生产 and RNA 的提取	298
16.1.2	RNA 的降解	298
16.1.3	核苷酸的分离、提取	300
16.2	核苷酸类物质的直接发酵	300
16.2.1	核苷酸的生物合成	300
16.2.2	核苷酸代谢的调节	302
16.2.3	核苷酸类物质的发酵生产	303
<b>第 17 章</b>	<b>酶制剂的生产</b>	<b>307</b>
17.1	酶制剂的生产方法	308
17.1.1	酶制剂生产的培养方法	308
17.1.2	酶制剂生产的条件控制	310
17.2	$\alpha$ -淀粉酶的生产	315
17.2.1	$\alpha$ -淀粉酶的生产菌种	316
17.2.2	$\alpha$ -淀粉酶的生产方法	317
17.3	蛋白酶的工业生产	320
17.3.1	蛋白酶的生产菌种	320
17.3.2	蛋白酶的生产方法	321
17.4	固定化酶	323
17.4.1	固定化酶的性质	324
17.4.2	固定化的方法	328



第 18 章 抗生素发酵生产 .....	337
18.1 概述 .....	337
18.1.1 抗生素的定义及发展概况 .....	337
18.1.2 抗生素的命名与应用 .....	339
18.1.3 抗生素分类及重要的抗生素种类 .....	340
18.1.4 半合成抗生素 .....	347
18.1.5 抗生素的作用机制 .....	349
18.2 几种重要抗生素的生物合成 .....	352
18.2.1 青霉素的生物合成 .....	352
18.2.2 链霉素的生物合成 .....	354
18.2.3 四环素的生物合成 .....	356
18.2.4 红霉素的生物合成 .....	359
参考文献 .....	361





自然界中存在各种微生物,它们繁殖迅速,可利用的物质广泛。微生物在生长代谢活动中,产生了各种有用物质,如酒精、氨基酸、有机酸等。人类从远古时期就已经开始利用微生物生产有用物质,如今,利用微生物为人类生产产品已经越来越受到重视,微生物生产已经是现代生产中不可或缺的部分。

## 1.1 发酵与发酵工程

据说发酵(fermentation)最初来自拉丁语“fervere”(沸腾、发泡),当时是指果汁或发芽谷物汁在酒精发酵时产生  $\text{CO}_2$  的现象。巴斯德认为发酵是酵母在进行“无氧呼吸”,即酵母在无氧状态下“分解有机物,获得能量的一种方式”,如酒精发酵,乳酸发酵等。

然而,发酵是一个含义广泛的名词,对不同的对象有不同的含义。酒精发酵,乳酸发酵是在无氧状态下进行的,但现在利用微生物生产各种目的产物,也都统称为发酵,并通常冠以产物的名称,例如,氨基酸发酵、有机酸发酵、抗生素发酵等。在这种场合,发酵是“无氧呼吸”的认识并不适用,因为这些发酵都是在有氧条件下进行的。因此,我们可以这样认为,无论培养微生物的过程是好氧或无氧的,广义的发酵概念可定义为“借助微生物大量生成并积累特定代谢产物的现象”。

20世纪80年代,一些科学家认为生物工程根据其研究内容可以划分为基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程。发酵工程是指采用现代工程技术手段,利用微生物的某些特定功能,为人类生产有用的产品,或直接把微生物应用于工业生产过程的一种新技术。如果把发酵工程仅仅看成是研究将微生物应用于工业生产过程的工程学问题,这样的认识是不全面的。工业化的发酵生产涉及的领域很多,甚至需要多学科的联合。发酵工程是研究利用微生物大量生产各种有用物质的一门现代工业学科,它既研究生产过程与微生物的关系,也研究工程学的问题,包括研究改造或构建适合于工业生产的微生物菌种,研究创造合适的环境条件以使微生物积累某种产物,研究从发酵液中分离和纯化产品的技术和相关的工程、设备等。

## 1.2 发酵产物的类型

微生物发酵产物繁多,按其性质,一般可分为微生物菌体、代谢产物和酶。