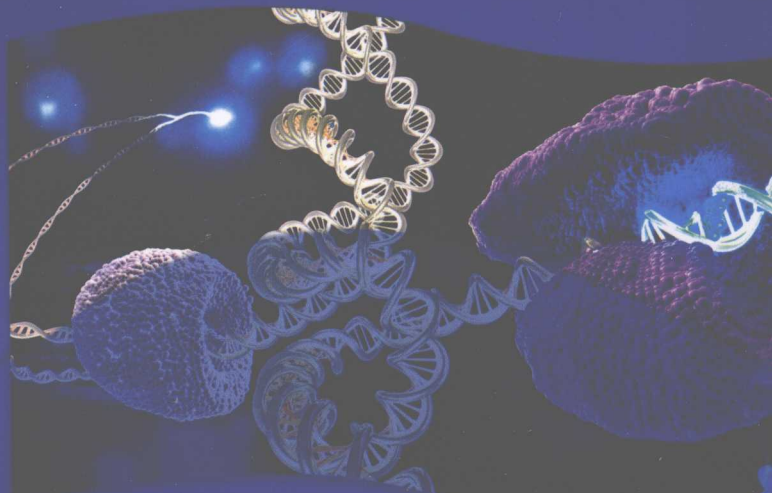




普通高等教育“十一五”规划教材

发酵工程

韦革宏 杨 祥 主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

发酵工程

韦革宏 杨祥 主编

ISBN 978-7-03-021071-7

2008年1月第1版第1次印刷
(普通高等教育“十一五”规划教材)

定价：35.00元

ISBN 978-7-03-021071-7

本书可作为高等院校生物工程专业及相关专业的教材，也可供从事发酵工程工作的工程技术人员参考。

科学出版社

北京

www.sciencep.com

010-64015000

010-64015000

科学出版社

2008年1月第1版第1次印刷

科学出版社

北京

科学出版社

“十一五”普通高等教育

本书全面介绍了发酵工程的概念、原理、发展方向及应用领域。全书共有11章,在内容安排上分为两大部分,前半部分即第一章至第七章主要阐述发酵工程的基本概念、理论及基本原理。后半部分即第八章至第十一章主要介绍发酵工程在工业、农业、新型能源、环境保护、食品酿造等方面的应用。

本书可供农林院校、综合性大学、师范院校的生物学专业与其他相关专业的本科生使用。

图书在版编目(CIP)数据

发酵工程/韦革宏,杨祥主编. —北京:科学出版社,2008
(普通高等教育“十一五”规划教材)
ISBN 978-7-03-021077-7

I. 发… II. ①韦…②杨… III. 发酵工程-高等学校-教材 IV. TQ92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 019015 号

责任编辑:甄文全 丛楠 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年2月第一次印刷 印张:21

印数:1—4 000 字数:543 000

定价:34.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<明辉>)

《发酵工程》编写委员会

主 编：韦革宏 杨 祥

副 主 编：王卫卫 段开红 任大明

编写人员（按姓氏汉语拼音排序）：

段开红（内蒙古农业大学）

韩珍珠（西南科技大学）

任大明（沈阳农业大学）

王卫卫（西北大学）

王彦杰（黑龙江八一农垦大学）

韦革宏（西北农林科技大学）

温志强（福建农林大学）

颜 霞（西北农林科技大学）

杨 祥（西北农林科技大学）

杨丽华（内蒙古农业大学）

张 良（沈阳农业大学）

张江波（西北农林科技大学）

前 言

发酵工程是生物工程的重要组成部分,是利用微生物为大规模工业生产服务的一门工程技术。发酵技术历史悠久,在国民经济和人民生活各方面正发挥着越来越大的作用。尤其是现代发酵工程,广泛应用基因工程、细胞工程、酶工程等新技术,形成了 21 世纪最重要的生物工程支柱产业。在人类可持续性发展的进程中,正显示着其巨大的优势。为人类解决所面临的能源短缺、环境污染、疾病控制等重大难题提供全新的思路和途径。发酵工程技术及成果正在被广泛地应用于工农业生产、环境保护及人们的医药卫生保健事业。因此可以说发酵工程是 21 世纪最具发展潜力的重要理论与应用学科之一。

生物工程被认为是生物科学最前沿的学科,为适应经济和社会发展需要,很多高校设有生物工程及生物技术或与之相关的本科专业,而发酵工程则是这些专业所开设的重要骨干课程。同时越来越多的相关专业,甚至一些文科及管理学科专业也相继设置发酵工程课程。但目前对于综合大学、农林院校、师范院校相关专业的教学却缺乏与之相适应的教材。基于这种要求和意愿,我们多所院校在科学出版社的大力支持下,编写了这本发酵工程教材。本教材的编写宗旨就是使同学们在掌握发酵工程基本知识、基本理论和基本技能的基础上,更多地了解发酵工程在生物、农林方面的应用,为同学们今后从事相关生物医药、生物农药、生物肥料、发酵食品饮料、新型能源、环境保护等工作打下一个坚实的理论及应用基础。

参与编写本教材的老师来自国内部分农林和综合院校。他们都长期从事发酵工程的教学及相关的科研工作,有着较为丰富的理论基础和实践经验。在编写过程中,编者参阅了大量的国内外先进教材、专著和文献。在内容安排上注重理论与应用紧密结合与联系。既注重基础理论,又努力反映学科发展的前沿动态,特别是发酵工程在农林业方面的应用实例。使之成为同学们学习发酵工程课程的重要指导教材。本教材也可供从事发酵工程工作的科技人员及相关人士参考。

本书共 11 章,编写分工是:第一章由韦革宏、杨祥编写,第二章由颜霞编写,第三章由王卫卫编写,第四章由张江波编写,第五章由王彦杰编写,第六章由段开红、杨丽华编写,第七章由张良编写,第八章由任大明编写,第九章由韩珍珠编写,第十章由杨祥编写,第十一章由温志强编写。全

书由韦革宏和杨祥统稿。

在编写本书过程中，我们参考了许多国内外相关的教材和文献资料，引用了一些重要的结论及相关的图表，在此向各位前辈及同行致以衷心的感谢。在编写过程中，还得到了相关院校领导及有关部门的大力支持和关心。科学出版社的领导和编辑同志对本书的出版做了大量辛勤细致的工作，在此谨致以衷心的感谢。

由于编者的水平有限，加之时间仓促，书中错误和不足之处在所难免。诚挚的希望专家和同行以及广大读者给予批评指正。

编者

2007年11月18日

目 录

前言	1
第一章 发酵工程概述	1
第一节 发酵工程的概念	1
一、发酵的定义	1
二、发酵工程的概念及特点	1
三、发酵工程的产品类型	3
第二节 发酵工程的发展简史	7
一、传统发酵时期	7
二、近代发酵工程时期	8
三、现代发酵工程时期	11
第三节 发酵工程的基本内容	12
一、发酵工程的一般特征	12
二、发酵工程菌种的特点	14
三、发酵工程中常见发酵罐的类型	14
四、发酵过程的优化	23
五、发酵工业的逐级放大	24
第四节 发酵工程常见的主要发酵类型	24
一、液体发酵与固体发酵	25
二、厌氧发酵与好氧发酵	30
三、分批发酵与连续发酵	31
四、单一纯种发酵与混合发酵	37
五、固定化发酵技术	38
第五节 发酵工程的后处理	39
一、发酵工程后处理技术的特点	40
二、发酵液的特点	40
三、下游工程的目的产物的特点	41
四、发酵产物提取精制的基本流程	41
五、发酵产物提取的基本方法	41
复习思考题	46
第二章 微生物菌种选育	47
第一节 菌种的来源	47
一、工业发酵常见微生物种类	47
二、工业微生物来源	49

三、微生物菌种的选择性分离	49
四、重要工业微生物菌种的分离	52
第二节 发酵高产菌种选育	54
一、自然选育	54
二、诱变育种	54
三、杂交育种	59
四、原生质体融合	59
五、基因工程育种	61
第三节 菌种退化和菌种保藏	64
一、菌种退化	64
二、微生物菌种保藏	67
三、菌种保藏机构	69
第四节 微生物菌种的扩大培养	70
一、种子的制备过程	70
二、种子质量的控制	72
复习思考题	75
第三章 发酵机制及发酵动力学	77
第一节 发酵工程微生物的基本代谢及产物	77
一、微生物初级代谢及产物	77
二、微生物次级代谢及产物	77
第二节 微生物代谢调控机制	78
一、微生物初级代谢的调节	79
二、微生物次级代谢的调节	82
三、微生物发酵中的代谢调控	82
第三节 糖代谢产物的发酵机制	84
一、厌氧发酵代谢产物发酵机制	84
二、好氧发酵代谢产物发酵机制	86
第四节 氨基酸和核酸发酵机制	88
一、氨基酸发酵机制	88
二、核苷酸发酵机制	92
第五节 抗生素发酵机制	93
一、抗生素的发酵机制	93
二、几种抗生素的生物合成	94
第六节 微生物发酵的动力学	97
一、分批培养中微生物的生长曲线	97
二、微生物生长速度的动力学方程	99
三、分批培养中微生物细胞生长与产物形成的动力学	100
复习思考题	103

第四章 发酵工业培养基及原料处理	104
第一节 发酵营养基质的组成	104
一、碳源营养	104
二、氮源营养	106
三、无机盐及微量元素	108
四、水	110
五、生长因子、前体物质、产物促进剂和抑制剂	110
第二节 工业发酵中营养基质的种类	112
一、不同原料纯度的培养基	112
二、物理状态不同的培养基	113
三、工业发酵中用途不同的培养基	113
第三节 工业发酵中营养基质的选择	115
一、营养基质的选择	115
二、培养基成分用量的确定	116
第四节 工业发酵中营养基质的配制方法	117
一、淀粉质原料制糖工艺及培养基的配制方法	117
二、糖蜜原料培养基的制备过程	125
复习思考题	127
第五章 发酵工程的灭菌与空气除菌	128
第一节 常用的灭菌方法	128
一、化学灭菌	128
二、射线灭菌	128
三、干热灭菌	129
四、湿热灭菌	129
第二节 培养基与发酵设备的灭菌	129
一、灭菌的基本原理	129
二、培养基的灭菌	131
三、发酵设备的灭菌	137
第三节 空气的除菌	137
一、发酵使用的净化空气的标准	138
二、空气预处理	139
三、空气净化方法	141
四、介质过滤除菌的材料及原理	143
五、空气净化的工艺流程	147
复习思考题	148
第六章 发酵条件及过程控制	150
第一节 营养基质和菌体浓度的影响及其控制	150
一、碳源的种类和浓度对发酵过程的影响及控制	150

101	二、氮源的种类和浓度的影响及控制	152
101	三、磷酸盐浓度的影响及控制	154
101	四、菌体浓度的影响及其控制	154
101	第二节 温度的影响及其控制	155
101	一、影响发酵温度的因素	155
101	二、发酵最适温度选择	157
101	三、发酵过程温度的控制	158
101	第三节 pH 的影响和控制	159
101	一、pH 对发酵过程的影响	159
101	二、发酵过程中影响 pH 变化的因素	160
101	三、发酵过程中 pH 的控制	160
101	第四节 通气和搅拌	162
101	一、微生物对氧的需求	162
101	二、影响氧溶解及传递的因素	164
101	三、提高溶解氧的措施	167
101	第五节 泡沫的影响和控制	168
101	一、发酵过程中泡沫的产生	168
101	二、泡沫对发酵过程的影响	169
101	三、泡沫的消除和控制	169
101	第六节 二氧化碳和呼吸商	172
101	第七节 发酵终点的判断	174
101	第八节 发酵的优化控制	175
101	一、培养基的优化	175
101	二、工艺控制优化	176
101	第九节 发酵过程的计算机控制	177
101	一、计算机控制概述	177
101	二、计算机控制系统及其功能	178
101	三、计算机在最优化控制中的作用	179
101	第十节 发酵过程的精确检测	180
101	一、发酵过程的参数	180
101	二、在线仪器监测	181
101	三、离线发酵分析	182
101	复习思考题	182
101	第七章 发酵染菌及防治	184
101	第一节 发酵异常现象及染菌分析	184
101	一、种子培养和发酵的异常现象	184
101	二、染菌隐患的检查	185
101	三、发酵染菌的原因	186

187	四、染菌原因的分析	187
188	五、染菌隐患的处理	188
189	第二节 染菌对发酵的影响	189
189	一、染菌对不同发酵过程的影响	189
189	二、杂菌的种类和性质对发酵过程的影响	189
189	三、染菌发生的时间不同对发酵的影响	189
189	四、染菌程度对发酵的影响	189
190	第三节 杂菌污染后的挽救和处理	190
190	一、种子培养期染菌的处理	190
190	二、发酵前期染菌的处理	190
190	三、发酵中、后期染菌的处理	190
190	四、染菌后对设备的处理	190
190	第四节 染菌的预防措施	190
190	一、强化空气净化过程	190
192	二、严格培养原料及设备的灭菌	192
195	三、定期检测发酵设备及管道	195
197	四、严格培养物的移接	197
198	五、预防噬菌体危害	198
200	第五节 食用菌及生物农药生产中应注意的染菌问题	200
200	一、食用菌生产中的染菌的危害	200
201	二、生物农药生产中的染菌问题	201
201	复习思考题	201
202	第八章 现代发酵工业主要产品的工艺过程	202
202	第一节 抗生素	202
202	一、概述	202
204	二、抗生素工业发酵生产过程	204
206	三、青霉素发酵生产工艺	206
208	第二节 氨基酸	208
208	一、概述	208
209	二、氨基酸工业发酵生产过程	209
214	三、赖氨酸工业发酵	214
215	第三节 有机酸	215
215	一、概述	215
216	二、柠檬酸工业发酵	216
217	三、乳酸工业发酵	217
220	第四节 酶制剂	220
220	一、概述	220
221	二、酶制剂的生产工艺	221

181	三、米曲霉 α -淀粉酶生产工艺	225
881	第五节 核苷酸类物质	226
081	一、概述	226
081	二、肌苷酸工业发酵	227
081	三、鸟苷酸工业发酵	229
081	第六节 其他现代发酵工程的产品	230
081	一、工业发酵生产维生素	230
091	二、工业发酵生产单细胞蛋白	231
091	三、工业发酵生产多糖	232
091	复习思考题	232
	第九章 发酵工程在食品、饮料方面的应用	233
091	第一节 酒类的发酵	233
091	一、酒的分类	233
091	二、白酒的酿造	234
091	三、啤酒的酿造	241
091	四、葡萄酒酿造	243
091	五、黄酒的酿造	246
091	第二节 调味品的酿造	249
009	一、豆腐乳的发酵生产	249
009	二、豆豉的酿造	251
109	三、酱油的酿造	252
109	四、醋的酿造	255
009	五、其他发酵食品的酿造	257
009	复习思考题	259
	第十章 发酵工程在农业方面的应用	260
109	第一节 生物(微生物)肥料的发酵	260
009	一、生物肥料概述	260
009	二、微生物(生物)肥料的发酵生产	263
009	第二节 生物农药的发酵	270
009	一、生物农药概述	270
019	二、细菌生物农药发酵	271
019	三、放线菌类生物农药的发酵	274
019	四、真菌生物农药的发酵生产	278
019	第三节 生物饲料的发酵	280
019	一、生物饲料概述	280
089	二、酵母菌体蛋白发酵	281
089	三、其他生物饲料的发酵	289
089	复习思考题	291

第十一章 发酵工程在新型能源及环境保护方面的应用·····	292
第一节 乙醇的发酵·····	292
一、概述·····	292
二、乙醇发酵的原料·····	293
三、乙醇发酵有关的微生物·····	293
四、乙醇发酵生化机制·····	294
五、乙醇的发酵工艺·····	295
六、乙醇蒸馏与精馏·····	299
第二节 沼气发酵的工艺类型·····	300
一、沼气发酵理论机理·····	300
二、沼气发酵的基本工艺流程·····	300
三、厌氧消化器的类别·····	302
第三节 发酵工程在环境保护中的应用·····	309
一、污水的生物处理·····	309
二、有机固体废弃物的微生物处理·····	315
复习思考题·····	318
主要参考文献·····	319

第一章 发酵工程概述

发酵工程是生物工程的重要组成部分和基础，是生物工程产业化的重要环节。它是利用生物技术对微生物进行质的改造，或构建出微生物原来不具有的新性状的菌株。同时，在开发微生物资源和改进传统微生物生产工艺中广泛采用新技术和新方法，使传统的劳动密集型微生物产业向技术密集型技术产业方向发展，形成了众多的生物工程新型产业。

发酵工程的内容随着科学技术的发展不断扩大和充实。现代的发酵工程不仅包括菌体生产和代谢产物的发酵生产，还包括微生物机能的利用。其主要内容包括生产菌种的选育，发酵条件的优化与控制，反应器的设计及产物的分离、提取与精制等。

第一节 发酵工程的概念

一、发酵的定义

1. 发酵 (fermentation) 的传统概念

发酵最初来自拉丁语“发泡”(fervere)这个词，是指酵母作用于果汁或发芽谷物产生 CO_2 的现象。巴斯德研究了酒精发酵的生理意义，认为发酵是酵母在无氧条件下的呼吸过程，是“生物获得能量的一种形式”。也就是说，发酵是在厌氧条件下，糖在酵母菌等生物细胞的作用下进行分解代谢，向菌体提供能量，从而得到产物酒精和 CO_2 的过程。然而，发酵对不同的对象具有不同意义。对生物化学家来说，关于发酵的定义是指微生物在无氧条件下分解代谢有机物质释放能量的过程。

2. 发酵的现代概念

生物学家把利用微生物在有氧或无氧条件下的生命活动来制备微生物菌体或其代谢产物的过程统称为发酵。

二、发酵工程的概念及特点

1. 发酵工程的概念

发酵工程是利用微生物特定性状和功能，通过现代化工程技术生产有用物质或直接应用于工业化生产的技术体系，是将传统发酵与现代的DNA重组、细胞融合、分子修饰和改造等新技术结合并发展起来的发酵技术。也可以说是渗透有工程学的微生物学，是发酵技术工程化的发展。由于主要利用的是微生物发酵过程来生产产品，因此也可称为微生物工程。

发酵工程基本上可分为发酵和提取两大部分。发酵部分是微生物反应过程，提取部分也称为后处理或下游加工过程。虽然发酵工程的生产是以发酵为主，发酵的好坏是整个生产的关键，但后处理在发酵生产中也占有很重要的地位。往往有这样的情况：发酵产率很高，但因为后处理操作和设备选用不当而大大降低了总得率，所以发酵过程的完成并不等于工作的结束。完整的发酵工程应该包括从投入原料到获得最终产品的整个过程。发酵工程就是要研究和解决整个过程的工艺和设备问题，将实验室和中试成果迅速扩大到工业化生产中去。

2. 微生物工业发酵的基本过程

微生物的工业发酵方式多种多样，但发酵总的过程是相似的。其基本步骤如图 1-1 所示。其中有的发酵过程环节繁多，有的则可省去其中的某些步骤。

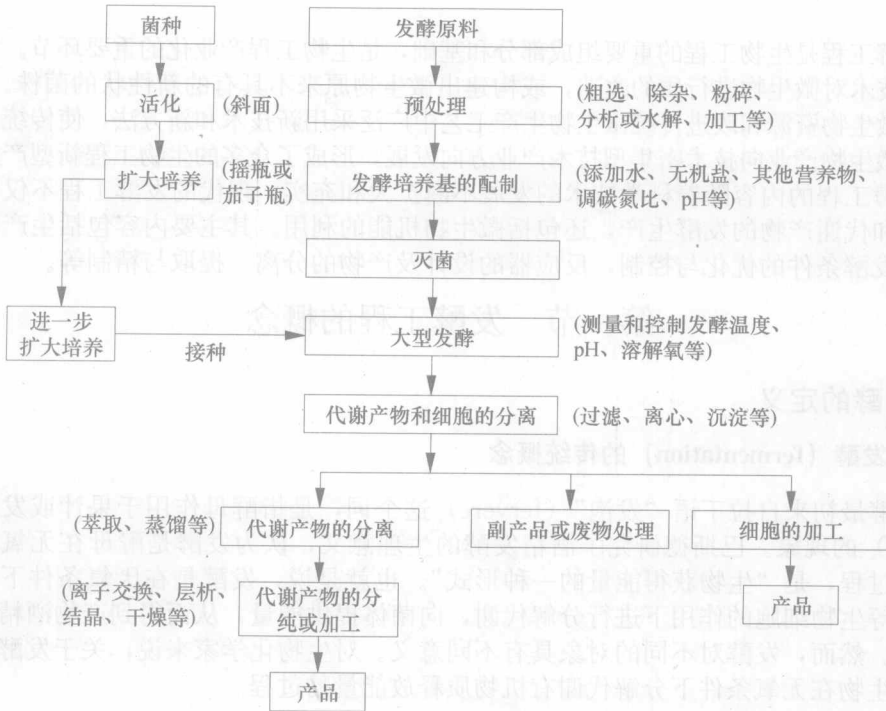


图 1-1 微生物工业发酵的基本过程

3. 发酵工程技术的特点

(1) 发酵工程主体微生物的特点：①微生物种类繁多、繁殖速度快、代谢能力强，容易通过人工诱变获得有益的突变株；②微生物酶的种类很多，能催化各种生物化学反应；③微生物能够利用有机物、无机物等各种营养源；④可以用简易的设备来生产多种多样的产品；⑤不受气候、季节等自然条件的限制等优点。

(2) 发酵工程技术的特点：与传统酿造技术相比，源于酒类、酱类、醋类等酿造技术的发酵工程技术发展非常迅速，并具有以下特点：①发酵过程以生命体的自动调节方式进行，数十个反应过程能够在发酵设备中一次完成；②反应通常在常温常压下进行，条件温和，耗能少，设备较简单；③原料通常以糖蜜、淀粉等碳水化合物为主，可以是农副产品、工业废水或可再生资源（如植物秸秆、木屑等），微生物本身能有选择地摄取所需的物质；④容易生产复杂的高分子化合物，能高度选择地在复杂化合物的特定部位进行氧化、还原、官能团引入或去除等反应；⑤发酵过程中需要防止杂菌污染，大多数情况下设备需要进行严格的冲洗、灭菌，空气需要过滤等。

(3) 发酵工程反应过程的特点：与化学工程相比，发酵工程反应过程具有如下特点：①作为生物化学反应，通常是在温和的条件（如常温、常压、弱酸、弱碱等）下进行；②原料来源广泛，通常以糖、淀粉等碳水化合物为主；③反应以生命体的自动调节

方式进行,若干个反应过程能够像单一反应一样,在单一反应器内很容易地进行;④发酵产品多数为小分子产品,但也能很容易地生产出复杂的高分子化合物,如酶、核苷酸的生产等;⑤由于生命体特有的反应机制,能高度选择性地对复杂化合物在特定部位的氧化、还原、官能团导入等反应;⑥生产发酵产品的微生物菌体本身也是发酵产物,富含维生素、蛋白质、酶等有用物质。除特殊情况外,发酵液一般对生物体无害;⑦要特别注意防止发酵生产操作中的杂菌污染,一旦发生杂菌污染,一般都会遭受损失;⑧通过微生物菌种的改良,能够利用原有设备较大幅度地提高生产水平(图1-2,图1-3)。

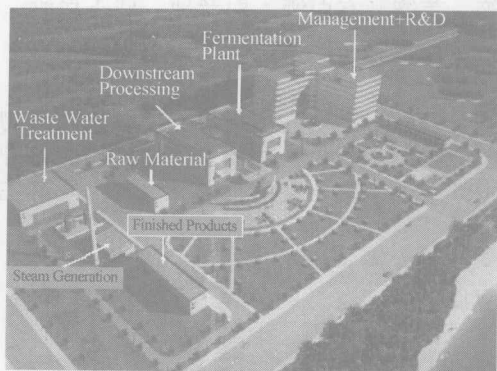


图1-2 国外一家现代化发酵制药企业全景图

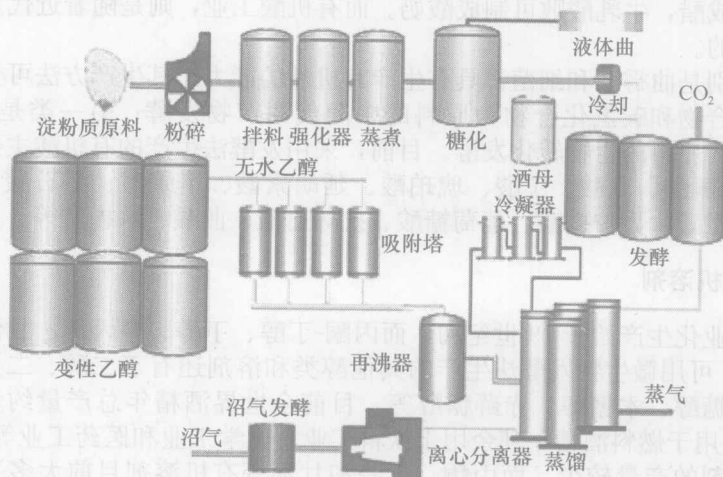


图1-3 乙醇发酵生产工艺流程

三、发酵工程的产品类型

人类利用微生物生产各种产品已有数千年的历史。最初,微生物的应用仅限于食品与酿酒发酵。随着近代微生物工程或发酵工程的发展,应用领域逐渐扩展到医药、轻工、农业、化工、能源、环境保护及冶金等多个行业。特别是基因工程和细胞工程等现代生物技术的发展和结合,人们通过细胞水平和分子水平改良或创建微生物新的菌种,使发酵工程的发酵水平大幅度提高,发酵产品的种类和范围不断增加,其中包括许多动、植物细胞产品。发酵工程产品类型常见的有下列16种。

1. 酿酒

酿酒是人类利用微生物发酵最早的领域,是微生物工业的母体工业。目前全世界饮料酒产量约2亿吨,其商品产量和产值在微生物工业中均占首位。饮料酒以含糖原料(果汁、甘蔗汁、蜂蜜等)和淀粉质原料(米、麦、高粱、玉米、红薯、土豆等)经酿造加工而成,其中起主要作用的是霉菌和酵母,前者将淀粉转变为糖,后者将糖转化为

酒精。饮料酒分发酵酒和蒸馏酒两大类，发酵酒包括葡萄酒、啤酒、果酒、黄酒和青酒等，蒸馏酒有白酒、白兰地、威士忌酒、俄德克、金酒、老姆酒等。

2. 发酵食品

发酵食品是人类很早以前利用微生物发酵的又一领域。天然食品经微生物（包括细菌、霉菌和酵母）适度发酵后，产生各种风味物质，使之味道更好，并有利于贮存。根据功能的不同，发酵食品又可分为发酵主食品、发酵副食品、发酵调味品和发酵乳制品等。

①发酵主食品：面包、馒头、包子、发面饼等；②发酵副食品：火腿、发酵香肠、豆腐乳、泡菜、咸菜等；③发酵调味品：酱、酱油、豆豉、食醋、酵母自溶物等；④发酵乳制品：奶酒、干酪、酸奶等。

3. 有机酸

醋酸和乳酸的生产和利用，在人们认识微生物之前就开始了。饮料酒在有氧条件下自然放置可制成醋，牛乳酸败可制成酸奶。而有机酸工业，则是随着近代发酵技术的建立而逐渐形成的。

霉菌（特别是曲霉）和细菌都具有生产有机酸的能力，其生产方法可分为两类：一类是以碳水化合物和碳氢化合物为原料的中间代谢产物发酵；另一类是以糖、糖醇、醇、有机酸等为原料的生物转化发酵。目前，采用发酵法生产的有机酸主要有醋酸（乙酸）、丙酸、丙酮酸、乳酸、丁酸、琥珀酸、延胡索酸、苹果酸、酒石酸、衣康酸、 α -酮戊二酸、柠檬酸、异柠檬酸、葡萄糖酸、抗坏血酸、曲酸、水杨酸等。

4. 醇及有机溶剂

乙醇的工业化生产始于19世纪初，而丙酮-丁醇、丁醇、异丙醇、甘油等的生产始于20世纪初，可用微生物发酵法生产的其他醇类和溶剂还有丁二醇、二羟丙酮、甘露糖醇、阿拉伯糖醇、木糖醇、赤藓糖醇等。目前全世界酒精年总产量约为2500万吨，其中60%以上用于燃料酒精，其余用于饮料工业、化学工业和医药工业等。除酒精外，其他醇类及溶剂的产量较少，而丙酮、丁醇和甘油等有机溶剂目前大多采用化学方法生产。

5. 酶制剂

酶是一种生物催化剂，它具有作用专一性强、催化效率高等特点，能在常温和低浓度下催化复杂的生化反应。没有酶，就没有生物体的一切生命活动。动物、植物、微生物都有细胞原生质分泌的各种特异的酶，借以催化各种生化反应，并呈现各种生命现象。事实上，微生物发酵现象都是在各种各样的酶催化作用下完成的。

中国酒曲是世界上最早的微生物粗酶制剂，其中含有淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶和酒化酶等。1897年德国人毕希纳证明发酵是由于微生物酶的作用，为近代酶学打下了基础。1898年，日本人高峰让吉从米曲霉中提取到高峰淀粉酶，这是利用微生物生产酶制剂产品的开端。

目前，生物界已发现的酶有数千种，用微生物发酵法生产的酶有上百种。按照酶催化反应的类型，将其分为氧化还原酶、转移酶、水解酶、裂解酶、异构酶和连接酶（合成酶）六类。而工业化生产的酶制剂，按用途不同分为工业用酶和医药用酶两大类，前者一般不需要纯制品，而后者要求的纯度较高，其价格是前者的数千倍至数百万倍。由微生物生产的工业用酶制剂主要有糖化酶、 α -淀粉酶、异淀粉酶、转化酶、异构酶、半