



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

发酵工程

Fermentation Engineering

主编 徐 岩



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

发酵工程

Fajiao Gongcheng

主 编 徐 岩

参编人员 (按姓氏拼音排序)

陈建新	陈叶福	褚 炬	丁重阳	郝小龙
黄 和	纪晓俊	李江华	李 霜	李秀芬
李 艳	林建平	刘 和	穆晓清	滕 云
王 栋	王新华	吴 丹	吴坚平	吴 敬
吴 群	肖冬光	杨立荣	余晓斌	张东旭



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书以现代发酵技术和工程原理为基础,以发酵过程中的关键工程技术和生物学需要为主线,注重反映现代发酵工程的发展方向和前沿技术领域。全书分为发酵工程原理、重要发酵工程产业、发酵工程的特殊应用和发酵工程的生物学基础等4篇共20章,重点介绍了现代发酵工程各产业用原料的选择、处理和培养基的制备;发酵工业微生物的扩大培养和染菌的控制;发酵过程的变化规律及其控制和优化;发酵动力学原理及发酵设备和反应器;发酵产物和生物技术产品的分离、提取、精制原理和技术;非常规现代发酵技术;以及涉及传统发酵工程和现代生物技术的重要发酵工程产业和产品等。

与本书配套的数字课程展示了主教材中25个知识窗的详细内容,并将易于自学的第三篇“发酵工程的特殊应用”和第四篇“发酵工程的生物学基础”以电子版的形式提供给读者。通过这种网络化的呈现方式,一是使主教材的脉络和重点更加突出,教学适用性强;二是丰富了教材的深度和广度,是对主教材的有力补充和扩展。

本书不仅适合作为发酵工程、生物工程、生化工程等专业的本科教材,也可作为相关专业的研究生、教师及科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

发酵工程/徐岩主编. —北京:高等教育出版社,2011.6
ISBN 978-7-04-032229-3

I. ①发… II. ①徐… 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(2011)第228759号

策划编辑 王莉 责任编辑 王莉 封面设计 于文燕 责任绘图 尹莉
责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 大厂益利印刷有限公司
开 本 850 × 1168 1/16
印 张 21.5
字 数 620 000
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2011年6月第1版
印 次 2011年6月第1次印刷
定 价 38.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 32229-00

数字课程

发酵工程

登录以获取更多学习资源!

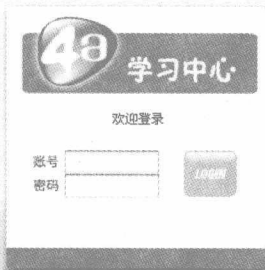
登录方法:

1. 访问<http://res.hep.com.cn/32229>
2. 输入数字课程账号(见封底明码)、密码
3. 点击“LOGIN”、“进入4A”
4. 进入学习中心

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。
使用本账号如有任何问题,
请发邮件至: life@pub.hep.cn

发酵工程

[内容介绍](#) | [纸质教材](#) | [相关资源](#) | [版权信息](#) | [联系方式](#)



4A 学习中心

欢迎登录

账号

密码

LOGIN

内容介绍

本数字课程是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《发酵工程》的配套资源,展示了主教材中第一篇“发酵工程原理”和第二篇“重要发酵工程产业”25个知识窗的详细内容,并将易于自学的第三篇“发酵工程的特殊应用”和第四篇“发酵工程的生物学基础”以电子版的形式提供给读者。通过这种网络化的呈现方式,一是使主教材的脉络和重点更加突出,教学适用性强;二是丰富了教材的深度和广度,是对主教材的有力补充和扩展。

高等教育出版社版权所有 2011

<http://res.hep.com.cn/32229>

前言

发酵工程是一门由化学、生物学和工程学知识相互融合的交叉学科,不仅涉及生物技术的前沿领域,而且是其他生物技术产业化的重要技术基础,更是当今生物技术第三次浪潮——工业生物技术的核心内容。发酵工程既是具有悠久历史、人类很早就用来加工食品饮料的技术,又是近年来发展十分迅速的学科。发酵工程成为人类有效利用再生资源、缓解能源和环境压力、增加农副产品附加值、提高生物制造水平和产业竞争力的关键技术,是解决21世纪人类面临的发展压力的重要途径,越来越受到各国的重视。

发酵工程是包括上游的微生物菌种选育与培养技术、生化过程工程技术、下游的发酵产物的提取精制技术在内的综合性技术。随着现代生物技术日新月异、突飞猛进的发展,尤其是组学、系统生物学的发展,作为生物技术的重要组成部分的发酵工程也增加了更多的丰富内涵,也更加广泛地应用在包括轻工、食品、化工、医药、农业、能源、环保等在内的国民经济众多领域中持续地造福人类。

江南大学(原无锡轻工大学)的发酵工程专业是我国第一个发酵工程专业,第一个发酵工程国家重点学科,长期以来从事发酵工程的科学研究和人才的培养,形成了以发酵工程为特色的学科优势。本书是江南大学“发酵工程原理与技术”国家级精品课程建设、改革和研究成果的集成和升华,是“十一五”国家级规划教材。本书力求突出以下特点:

第一,系统性强。从学科组成上,发酵工程涉及化学、生物学和工程学,具有综合性、交叉性和系统性;从内容组成上,包括了微生物菌种的上游技术、发酵过程工程技术和产物分离的下游技术。因此,本书从发酵工程原理、重要发酵工程产业、发酵工程的特殊应用和发酵工程的生物学基础共4篇独立、组合起来又完整的体系来介绍发酵工程的原理和应用,使读者容易整体地理解和掌握。

第二,可读性强。本书以教科书的形式进行内容组织,每章配有思考题,便于学生理解和记忆。注意将最新的理论创新编入原理部分,又将工业生物技术生物能源、生物基化学品、生物材料、生物制药、生物食品等发酵工程最新领域形成的产业成果作为实例进行剖析。

第三,编写队伍强大。本书的参编者由一群活跃在本科教学和科研一线的年富力强的教授和博士教师组成,他们既有最新的知识结构和科研体会,又有讲台前的教学实践和经验,这些赋予本书清新、充满活力的气息。

第四,编撰方式新颖。为增强本书的教学适用性,特配套建设相应的数字课程,将书中的知识窗和易于自学的“发酵工程的特殊应用”、“发酵工程的生物学基础”两篇内容以电子版的形式呈现在网站上,这样处理,一是使纸质教材的脉络和重点更加突出,二是大大丰富了教材的深度和广度,充分体现以学生为主体、教师为主导的教学理念。

最后,我想表达的是发自内心的感谢之意。本书的编写得到高等教育出版社王莉编辑的大力支持和指导;同时,得到江南大学吴敬教授、余晓斌教授、李秀芬教授、刘和教授、李江华副教授、穆晓清副教

授、陈建新副教授、王栋副教授、丁重阳副教授、王新华副教授、郝小龙副教授、吴丹副教授、吴群副教授、张东旭副教授、滕云博士,华东理工大学储炬教授,浙江大学杨立荣教授、吴坚平副教授、林建平副教授,南京工业大学黄和教授、李霜教授、纪晓俊副教授,天津科技大学肖冬光教授、陈叶福副教授和河北科技大学李艳教授等多位编者的支持,对大家繁忙的科研教学工作下对本书的编写所付出的努力和艰辛表示衷心的感谢和崇高的敬意。

徐 岩


2011年10月于江南大学

目录

绪论	1	四、生物转化过程	6
第一节 概述	1	第三节 发酵工程的地位	7
一、基本概念	1	一、对满足国家需求、经济和社会发展的作用	7
二、发酵工程的特点	1	二、对其他领域的作用	8
三、发酵的类型	2	第四节 发酵工业现状与发展趋势	9
四、发酵过程的组成部分	2	一、发酵工程发展的阶段	9
第二节 发酵产品的类型	3	二、世界发酵工程的现状	10
一、菌体	3	三、我国发酵工程的现状	12
二、微生物的酶	3	四、发酵工程技术发展	13
三、微生物代谢产物	5		

第一篇 发酵工程原理

第一章 发酵原料及其处理	21	二、纤维质原料的预处理	32
第一节 发酵工业原料	21	三、纤维质原料的水解	34
一、主要原料组成	21	知识窗 1-1 生物合成的前体物质、抑制剂、促进剂*	37
二、原料的预处理	22	第四节 培养基的灭菌	37
三、培养基的设计	23	一、湿热灭菌原理	37
第二节 淀粉水解糖的制备和糖蜜原料的处理	26	二、分批灭菌过程	40
一、淀粉水解的理论基础	26	三、连续灭菌过程	41
二、淀粉的液化和糖化	27	第二章 水和空气处理	46
三、糖蜜的来源与特点	30	第一节 发酵用水的来源及改良	46
四、糖蜜前处理的方法	30	一、发酵用水的来源	46
第三节 非粮食生物质原料的加工	31		
一、非粮食生物质的来源和组成	31		

* 请登录 <http://res.hep.com.cn/32229> 浏览标注有  的内容,下同。

二、水质对发酵工艺的影响	46	筛选	71
三、发酵用水的改良与处理	47	二、工业微生物菌种的选育	72
第二节 空气中微生物的分布及发酵用		第三节 发酵微生物扩大培养技术	74
空气要求	48	一、种子扩大培养的作用与目的	74
一、空气中微生物的分布	48	二、优质种子的标准	75
二、发酵用空气的要求	48	三、种子扩大培养的工艺流程	75
三、空气中微生物采样与测定方法	48	四、实验室菌种扩大培养	75
第三节 空气除菌的原理及工艺		五、生产车间菌种扩大培养	76
技术	49	第四节 发酵微生物菌种质量	78
一、空气除菌的主要方法	49	一、种子质量的检查与标准	78
二、介质过滤除菌	49	二、影响菌种质量的因素	79
三、介质过滤效率与对数穿透		三、发酵菌种异常原因分析	82
定律	50	四、发酵菌种质量的保障措施	82
四、空气过滤的介质与空气过		第五节 发酵微生物菌种的保藏	83
滤器	51	一、微生物菌种的退化与复壮	83
五、影响空气过滤的主要因素	52	二、国内外菌种保藏机构	84
六、空气预处理流程	53	三、菌种保藏的原理和方法	85
第三章 工业发酵的染菌及其防止	56	第五章 发酵工艺条件的控制	87
第一节 染菌对发酵的影响	56	第一节 发酵过程的代谢变化规律	87
一、染菌对发酵的影响	56	一、分批发酵的代谢变化规律	87
二、染菌对发酵产品提取的影响	57	二、分批补料发酵的代谢变化	
三、染菌对三废治理的影响	58	规律	89
第二节 发酵染菌的分析	58	三、连续发酵的代谢变化规律	90
一、杂菌的检查方法	58	第二节 发酵工艺的控制	90
二、发酵染菌原因分析	60	一、温度对发酵的影响及控制	90
第三节 杂菌污染的途径和防止	60	二、pH对发酵的影响及控制	94
一、种子带菌及防止	60	三、氧对发酵的影响及控制	99
二、空气带菌及防止	61	四、CO ₂ 对发酵的影响及控制	105
三、设备及附件渗漏导致的染菌及		五、发酵过程中的泡沫及其控制	106
防止	62	六、发酵过程的补料控制	108
四、培养基和设备灭菌不彻底导致		第三节 发酵过程的主要控制参数	112
的染菌及防止	65	一、物理参数	112
五、噬菌体的污染及防止	66	二、化学参数	112
六、染菌的挽救与处理	66	三、生物参数	113
第四章 发酵微生物的扩大培养	68	第六章 发酵过程优化和放大	115
第一节 发酵工业微生物菌种	68	第一节 发酵过程的不同阶段	115
一、工业发酵对微生物菌种的		一、小规模发酵(实验室规模)	116
要求	68	二、中试规模发酵	117
二、工业生产常用微生物菌种	69	三、产业化放大	117
第二节 工业微生物菌种的分离和		第二节 发酵条件优化	117
选育	71	一、基础培养基的选择	117
一、工业微生物菌种的分离与		二、实验设计与优化	118

第三节 工艺放大	121	第九章 发酵产物的分离	178
一、工艺放大面临的问题	121	第一节 基本概念	178
二、工艺放大的方法	122	一、发酵产物分离所面临的	
三、工艺放大的重要参数	123	问题	178
四、其他发酵方式工艺放大	127	二、发酵产物分离的一般过程与	
第七章 发酵动力学	130	规律	179
第一节 微生物生长动力学	130	知识窗9-1 发酵产物分离的主要	
一、生长速率与比生长速率	130	技术及原理	181
二、比生长速率与基质浓度		第二节 发酵产物分离流程的建立和	
之间的关系	131	优化	181
三、生长抑制	133	一、不同性质发酵产物的分离	
四、逻辑定律	134	策略	181
五、得率系数	134	二、经验法则及应用	185
第二节 产物生成动力学	140	第三节 生物分离技术的发展	186
一、产物生成与生长的关系	140	一、新的分离介质	186
二、产物生成动力学模型举例	141	二、新的分离原理和系统	186
第三节 间歇发酵动力学	142	知识窗9-2 发酵工业清洁生产	
一、分批培养	142	技术	187
二、流加培养	144	第十章 其他发酵培养技术	188
第四节 连续发酵动力学	145	第一节 固态发酵	188
一、概述	145	一、固态发酵技术原理和特点	188
二、单级连续培养	146	二、固态发酵原辅料及处理	
三、多级连续培养	149	技术	192
第八章 发酵设备	155	三、固态发酵微生物及培养	
第一节 通风发酵设备	155	技术	195
一、标准机械搅拌发酵罐	155	四、固态发酵反应器及传质和	
二、通风搅拌发酵罐	162	传热	197
三、自吸式发酵罐	165	五、固态发酵产品的生产	203
四、其他类型发酵罐	166	第二节 基因工程菌的发酵	205
第二节 厌气发酵设备	167	一、基因表达系统	205
一、酒精发酵设备	167	二、基因工程菌的构建	206
二、啤酒发酵设备	169	三、基因工程菌的稳定性	212
三、葡萄酒发酵设备	173	四、基因工程菌的发酵生产	213
第三节 固态发酵设备	174	知识窗10-1 固定化培养	215
一、白酒固态发酵设备	174	知识窗10-2 动物细胞培养	215
二、通风制曲设备	175	知识窗10-3 植物细胞培养	215

第二篇 重要发酵工程产业

第十一章 生物食品	219	知识窗11-1 葡萄酒	225
第一节 发酵酿造食品	219	知识窗11-2 黄酒	225
一、饮料酒	220	二、发酵调味品	228

🔍 知识窗11-3 酱品	237	三、维生素 B ₁₂	290
🔍 知识窗11-4 酸奶	237	四、维生素 B ₂	291
🔍 知识窗11-5 其他发酵酿造 食品	237	五、原维生素 A(β -胡萝卜素)	291
第二节 生物食品添加剂和配料	237	六、维生素 H	292
一、鲜味剂	237	七、原维生素 D ₂ (麦角甾醇)	292
二、酸味剂	241	八、维生素 E(α -生育酚)	292
🔍 知识窗11-6 柠檬酸	244	第三节 酶抑制剂	292
三、食用香精香料	244	一、概述	292
四、食用色素	246	二、 β -内酰胺酶抑制剂	293
五、食品胶	247	三、癌相关酶抑制剂	295
六、生物防腐剂	250	🔍 知识窗13-1 免疫调节剂	295
🔍 知识窗11-7 功能发酵制品	251	🔍 知识窗13-2 其他微生物药物	295
第十二章 生物基化学品和生物材料	252	第十四章 微生物酶制剂	298
第一节 生物基大宗化学品	252	第一节 淀粉酶类发酵生产	298
一、乳酸	252	一、 α -淀粉酶	298
二、1,3-丙二醇	255	二、真菌 α -淀粉酶	300
🔍 知识窗12-1 丁二酸	259	三、 β -淀粉酶	300
🔍 知识窗12-2 富马酸	259	四、葡萄糖淀粉酶	301
第二节 生物基精细化学品	259	五、普鲁兰酶	301
一、丙烯酸酰胺	260	第二节 蛋白酶类	302
二、1,3-二羟基丙酮	264	一、酸性蛋白酶	302
🔍 知识窗12-3 5-氨基乙酰丙酸	266	二、中性蛋白酶	302
🔍 知识窗12-4 3-羟基丙酸	266	三、碱性蛋白酶	303
第三节 生物基材料	266	🔍 知识窗14-1 其他酶类	303
一、聚羟基脂肪酸酯	267	第三节 酶的提取及酶产品的剂型	303
二、聚氨基酸	270	一、酶制剂提取工艺	303
🔍 知识窗12-5 ϵ -聚赖氨酸	276	二、商品酶制剂的形式	307
三、聚多糖	276	三、酶制剂成品化技术	309
🔍 知识窗12-6 结冷胶	278	第十五章 生物能源	315
🔍 知识窗12-7 黄原胶	278	第一节 生物乙醇	315
第十三章 微生物药物	280	一、概述	315
第一节 抗生素	280	二、生产方法	315
一、概论	280	三、展望	321
二、 β -内酰胺类抗生素	281	第二节 生物沼气	322
三、大环内酯类抗生素	284	一、甲烷发酵	322
第二节 维生素	288	二、问题与发展前景	326
一、概述	288	🔍 知识窗15-1 生物柴油	326
二、维生素 C	289	🔍 知识窗15-2 生物制氢	326

第三篇 发酵工程的特殊应用

第十六章 微生物采油

第一节 微生物石油探测技术

- 一、微生物石油探测技术的发展历程
- 二、油气微生物探测技术的原理
- 三、油气微生物探测技术的应用实例
- 四、油气微生物勘探技术的发展趋势

第二节 本源微生物采油技术

- 一、本源微生物采油原理
- 二、本源微生物采油技术设计与方法
- 三、微生物提高石油采收率的研究
- 四、保持微生物活性的方法

第三节 异源微生物采油技术

- 一、异源微生物采油原理
- 二、异源微生物采油技术现状及发展趋势
- 三、异源微生物采油技术的应用

第四节 微生物系统的特性与选择

- 一、油藏本源细菌的生态特性
- 二、油藏本源细菌的应用潜力
- 三、微生物系统特性的实例分析

第十七章 微生物冶金

第一节 微生物冶金的基本原理及特点

- 一、微生物冶金的研究概况
- 二、微生物冶金的基本原理及流程
- 三、微生物冶金的特点
- 四、微生物冶金的研究内容

第二节 浸矿菌种的选育

- 一、浸矿微生物
- 二、浸矿微生物选育的方法和意义

第三节 微生物冶金过程中的影响因素

- 一、环境因素对微生物冶金过程的影响

二、矿物的物理化学性质对微生物吸附及浸矿效果的影响

三、微生物冶金过程中的营养需求

第四节 微生物浸出液的富集、分离和纯化

- 一、微生物浸出液的富集
- 二、微生物浸出液的分离、纯化

第五节 微生物冶金反应器的设计

- 一、微生物冶金反应器的研究概况
- 二、转鼓式反应器的设计
- 三、固定床反应器的设计

第六节 微生物冶金实例

- 一、硫化铜矿概况
- 二、硫化铜矿的选冶技术
- 三、硫化铜矿的微生物冶金工艺应用

第十八章 微生物环境生物技术

第一节 固体有机废弃物的堆肥技术

- 一、堆肥技术的基本原理
- 二、好氧堆肥技术
- 三、厌氧堆肥技术

第二节 城市污泥的厌氧消化处理

- 一、厌氧消化处理机理
- 二、厌氧消化影响因素
- 三、厌氧消化工艺
- 四、厌氧消化处理工程应用

第三节 微生物产环境友好材料

- 一、微生物絮凝剂
- 二、微生物农药
- 三、生物表面活性剂的生产与应用

第四篇 发酵工程的生物学基础

第十九章 微生物学原理

第一节 发酵工业微生物菌种概述

- 一、工业微生物的发展
- 二、工业微生物菌种的基本要求
- 三、常用的工业微生物菌种

第二节 工业微生物的分离筛选

- 一、微生物样品的采集
- 二、微生物的富集培养
- 三、微生物纯种分离
- 四、微生物的筛选

- 第三节 微生物的营养及物质转运
 - 一、营养元素及其生理功能
 - 二、营养物质跨膜输送机制
 - 三、物质输送的调节
 - 四、代谢产物的分泌
- 第四节 工业微生物功能基因组学
 - 一、工业微生物基因组学的发展
 - 二、工业微生物模式菌的功能基因组学
- 第五节 工业微生物育种技术
 - 一、诱变育种
 - 二、代谢控制育种
 - 三、原生质体融合育种
 - 四、基因工程育种
 - 五、高通量筛选技术
- 第六节 工业微生物菌种的复壮与保藏
 - 一、菌种的退化与复壮
 - 二、菌种的保藏
 - 三、主要菌种保藏机构

- 第二十章 发酵过程的生物代谢原理
 - 第一节 微生物初级代谢
 - 一、微生物初级代谢的特征
 - 二、微生物初级代谢的类型
 - 三、微生物初级代谢调控
 - 第二节 微生物次级代谢
 - 一、微生物次级代谢的特征
 - 二、微生物次级代谢的类型
 - 三、微生物次级代谢的调控
 - 第三节 微生物初级代谢发酵机制
 - 一、糖代谢产物发酵机制
 - 二、氨基酸发酵机制
 - 三、核苷酸发酵机制
 - 第四节 微生物次级代谢发酵机制
 - 一、微生物初级代谢和次级代谢的关系
 - 二、主要抗生素的生物合成机制和调节



绪 论

第一节 概 述

发酵工程是生物技术的重要组成部分,也是其他生物技术产业化的重要技术基础,更是生物技术的第三次浪潮——工业生物技术的核心内容。发酵工程是一门化学、生物学和工程学知识相互融合的交叉学科,也是一项综合性技术,它涵盖了上游的微生物菌种选育与培养技术、生化过程工程技术以及下游的发酵产物的提取精制技术。发酵工程的应用遍及轻工、食品、化工、医药、农业、能源、环保等国民经济许多领域,是有效利用可再生资源、缓解能源和环境的压力、增加农副产品附加值、提高我国生物制造水平和相关产业国际竞争力的关键技术。

一、基本概念

生物化学或生理学中的发酵,是指微生物在无氧条件下,分解各种有机物质产生能量的一种方式,或者更严格地说,发酵是以有机物作为电子受体的氧化-还原产能反应。如葡萄糖在无氧条件下被微生物利用产生乙醇并放出二氧化碳,同时获得能量;丙酮酸被还原为乳酸而获得能量,等等。工业上的发酵,是泛指利用生物细胞制造某些产品或净化环境的过程,它包括厌氧培养的生产过程,如乙醇、丙酮、丁醇、乳酸等,以及通气(有氧)培养的生产过程,如抗生素、氨基酸、酶制剂等的生产。产品既有细胞代谢产物,也包括菌体细胞、酶等。

发酵工程(fermentation engineering)是应用微生物学等相关的自然科学以及工程学原理,利用微生物等生物细胞进行酶促转化,将原料转化成产品或提供社会性服务的一门科学。它利用一切微生物的代谢作用,通过现代工程技术手段,把微生物细胞或其酶直接应用于生物反应器中,利用再生资源进行有用物质生产和社会服务。多年以来,由发酵工程理论主导的发酵工业几乎是我国工业生物技术产业的代名词。随着基因组学、蛋白质组学等生物技术的飞速发展,发酵工程作为生物技术的一个重要分支,已经渗透到农业、食品、医药、化学品、能源、材料等许多领域。人们普遍认为,发酵工程与基因工程、酶工程、细胞工程一样,是生物工程的重要组成部分。发酵工程是以可再生生物资源为原料,微生物或酶为催化剂进行物质转化,大规模生产人类所需的产品的一个很大技术产业,因而被认为是解决人类目前面临的资源与能源、食品与营养、环境与健康等重大问题的关键技术之一,是实现人类社会可持续发展的有效手段。

二、发酵工程的特点

发酵工程是化学工程与生物技术相结合的产物,是生物技术的重要分支,是生物加工与生物制造实现产业化的核心技术。与传统化学工程相比,发酵工程有以下突出特点:① 主要以可再生资源为原料;② 反应条件温和,多为常温、常压、能耗低、选择性好、效率高的生产过程;③ 环境污染较少;④ 投

资较小;⑤ 能生产目前化学法不能生产的或用化学法生产较困难的性能优异的产品。由于这些特点,发酵工程已成为工业领域重点发展的行业。

三、发酵的类型

根据发酵的特点和微生物对氧的不同需要,可以将发酵分成若干类型。

1. 按发酵原料区分

发酵所用的原料可以多种多样,包括糖类物质、石油以及废弃物等:① 糖类物质发酵所用的原料主要为多糖、双糖、单糖,包括淀粉、糖蜜、蔗糖、葡萄糖等。② 石油发酵是指利用微生物对石油(或其组分)的作用生产某些产品的新型工业,它对节约粮食,开发利用石油资源意义重大。微生物可将石油(或其组分)同化成菌体,从而可制得菌体蛋白质、脂肪、核酸等;微生物对石油(或其组分)进行氧化,可以制得多种重要化工原料或医药、化工产品;微生物对石油的作用还可以用来使石油脱蜡、脱硫。③ 废水发酵是以废水中的有机物作为发酵原料进行生物资源的改造和更新。

2. 按发酵形式区分

根据发酵形式的不同,可分为固态发酵和深层液体发酵两类。固体发酵基质的含水量可以有效控制在12%~80%,大多含水量在60%左右。而典型的深层液体发酵的发酵液中只有5%左右的溶质,至少有95%的水。当前发酵工业所使用的主要是深层液态发酵,但固态发酵也有其优势。固态发酵技术是现代液态发酵技术的互补,具有节水、节能的独特优势,也是解决工、农业废弃物污染的重要手段,属于环境友好的绿色生产技术,具有明显的经济优势与环境优势。但目前固态发酵面临传质、传热等问题。

3. 按发酵产物区分

根据发酵产物的不同,可分为氨基酸发酵、有机酸发酵、抗生素发酵、酒精发酵、维生素发酵、酶制剂发酵等。

4. 按发酵工艺流程区分

根据发酵工艺流程的不同,可分为分批式操作(batch operation)、反复分批式操作(repeated batch operation)、半分批式操作(fed-batch or semi-batch operation)、反复半分批式操作(repeated fed-batch operation)、连续式操作(continuous operation)等。

5. 按发酵过程中对氧的不同需求区分

根据发酵过程中对氧需求的不同,一般可分为厌氧发酵和通风发酵两大类型。

四、发酵过程的组成部分

1. 发酵过程的组成

发酵过程一般包括以下步骤(图0-1):① 繁殖种子和发酵生产所用的培养基组分确定;② 培养基、发酵罐及其附属设备的灭菌;③ 培养出有活性、适量的微生物纯种,接种入生产容器中;④ 微生物在最适合于产物生长的条件下,在发酵罐中生长;⑤ 产物提取和精制;⑥ 过程中排出的废弃物的处理。

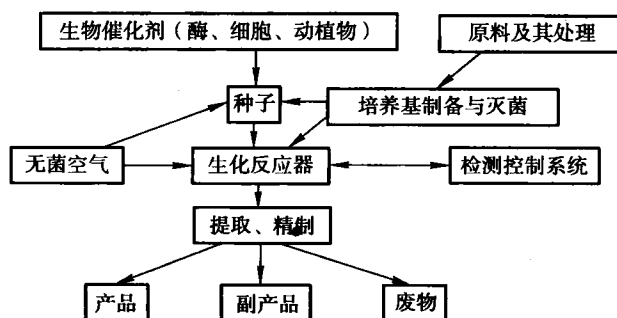


图0-1 发酵过程的组成

2. 发酵生产的条件

发酵生产的条件包括:① 某种适宜的微生物;② 保证或控制微生物进行代谢的各种条件(培养基组成、温度、溶氧、pH 等);③ 进行微生物发酵的设备;④ 提取菌体或代谢产物并精制成产品的方法和设备。

第二节 发酵产品的类型

一、菌体

1. 供制备面包用的酵母

面包酵母是一种单细胞微生物,含蛋白质 50% 左右,氨基酸含量高,富含 B 族维生素,还有丰富的酶系和多种经济价值很高的生理活性物质。几千年前人类就用面包酵母发酵面包和酒类,在现代食品工业中广泛用作人类主食面包、馒头、包子以及饼干、糕点等食品的优良发酵剂和营养剂。

面包酵母包括鲜酵母和活性干酵母两类,根据面团含糖量的不同,又可分为高糖酵母、低糖酵母和无糖酵母。面包酵母的生产是采用糖蜜为原料,将酵母菌通风发酵培养后,经过分离、洗涤、压榨而制得的含水量 71% ~ 73% 的产品为鲜酵母,鲜酵母经过造粒、干燥制得含水量 7% ~ 8.5% 的酵母为活性干酵母。低糖酵母发酵时,面团一般含糖量 7% 左右,高糖酵母发酵时含糖量则为 16%。

2. 作为人类或动物的食物的微生物细胞(单细胞蛋白质)

单细胞蛋白质,也叫微生物蛋白质,它是用工、农业废料及石油废料人工培养的微生物菌体。因而,单细胞蛋白质不是一种纯蛋白质,而是由蛋白质、脂肪、糖类、核酸及非蛋白质的含氮化合物、维生素和无机化合物等混合物组成的细胞质团。

单细胞蛋白质所含的营养物质极为丰富。其中,蛋白质含量高达 40% ~ 80%,比大豆高 10% ~ 20%,比肉、鱼、奶酪高 20% 以上;氨基酸的组成较为齐全,含有人体必需的 8 种氨基酸,尤其是谷物中含量较少的赖氨酸。一般成年人每天食用 10 ~ 15 g 干酵母,就能满足对氨基酸的需要量。单细胞蛋白质中还含有多种维生素、糖类、脂质、矿物质,以及丰富的酶类和生物活性物质,如辅酶 A、辅酶 Q、谷胱甘肽和麦角固醇等。

单细胞蛋白质具有以下优点:第一,生产效率高,比动植物高成千上万倍,这主要是因为微生物的生长繁殖速率快。第二,生产原料来源广,一般有几类:① 农业废物、废水,如秸秆、蔗渣、甜菜渣、木屑等含纤维素的废料及农林产品的加工废水;② 工业废物、废水,如食品、发酵工业中排出的含糖有机废水、亚硫酸纸浆废液等;③ 石油、天然气及相关产品,如原油、柴油、甲烷、乙醇等;④ H_2 、 CO_2 等废气。第三,可以工业化生产,它不仅需要的劳动力少,不受地区、季节和气候的限制,而且产量高,质量好。

二、微生物的酶

工业上,曾由植物、动物和微生物生产酶。微生物的酶可以用发酵技术大量生产,是其最大的优点。而且与植物和动物相比,改进微生物的生产能力也方便得多。酶制剂服务于国民经济许多行业,是一类生态型高效催化剂,具有高效、安全、生态和环保等特点,能有效带动相关领域技术水平的提高。酶制剂的应用范围涉及食品、医药、纺织、化工、能源、环境、农业、国防等众多领域。据报道,全世界已发现的酶有 3 000 多种,工业上大规模生产的酶有 50 多种。主要酶制剂产品如下:

1. 糖化酶

糖化酶是一种从淀粉的非还原性末端依次水解 α -1,4-糖苷键生成葡萄糖的酶。糖化酶的主要用途是作为淀粉的糖化剂,可以生产葡萄糖,还广泛用于乙醇、谷氨酸、柠檬酸等大宗发酵产品的生产。中国生产糖化酶已有 20 多年,其产量占酶制剂产量的 66%,是中国酶制剂行业的支柱产品。特别是中国已经启动具有战略意义的燃料乙醇工程,每年将增加 9 万 t 糖化酶市场,其份额是糖化酶现有产量的

50%,因此,它的兴衰对中国酶制剂工业具有决定性的意义。20世纪80年代,由中国科学院微生物研究所等单位完成的“黑曲糖化酶活力提高及其在工业生产的应用”的成果获得了国家科技进步一等奖,为国家节约了大量粮食,创造了巨大财富。

2. α -淀粉酶

α -淀粉酶作用于淀粉时,可从内部切开 α -1,4-糖苷键生成糊精和还原糖。 α -淀粉酶可广泛用于食品、发酵、谷物加工、纺织、医药、轻化工等领域。以粮食为原料的发酵行业如乙醇发酵、氨基酸发酵、抗生素发酵、淀粉糖生产、有机酸发酵、维生素发酵等都离不开 α -淀粉酶。例如有一种真菌淀粉酶,具有耐热性高的特点,适合于面包的烘制,在食品加工上有很大用途;另有一种碱性淀粉酶,可用于洗涤剂行业。

3. 蛋白酶

蛋白酶是催化肽键水解的一类酶,种类繁多,达100多种。蛋白酶作用底物多,应用范围广,在各个领域都有很大用途:可作为洗涤剂的配料;用于食品工业的干酪、酱油、蛋白水解物的制造和肉类的加工;用于皮革工业的毛皮软化、脱毛;用于制药工业的消化剂、消炎剂;用于饲料工业的饲料添加剂等。

4. 纤维素酶

纤维素酶是一个多组分的酶系,是水解纤维素 β -1,4-葡萄糖苷键成为纤维二糖和葡萄糖的一组酶的总称。它是由内切 β -1,4-葡聚糖酶、外切 β -1,4-葡聚糖酶和 β -1,4-葡萄糖苷酶三个主要成分组成的诱导型复合酶系。纤维素酶在中国有巨大的应用市场,可用于酿造业,用于果汁、中草药的提取,在淀粉生产中应用可提高产品收率,用于饲料行业可以提高饲料被消化和吸收的比例,节约大量的饲料用粮。

5. 脂肪酶

脂肪酶是继淀粉酶、蛋白酶后又一大酶种,是分解脂肪的酶。它能够水解甘油酯产生二甘油酯、单甘油酯、甘油和脂肪酸。脂肪酶有很广泛的用途,水解油脂释放出短链脂肪酸,可增加和改进食品的风味和口味;水解长链不饱和脂肪酸酯,可得到不饱和脂肪酸;催化酯交换反应可对植物油进行改进,改善营养和口味;催化合成糖及糖醇酯,可作为食品添加剂。酶法合成的多种酯蜡系列产品,如鲸蜡油可作为高性能的润滑剂在精密仪表、航空、汽车、机械等行业有很大市场;在制药工业,脂肪酶能高效拆分制备光学活性的化合物,包括甾醇类抗炎药物、抗病毒药物、抗生素、通过酶催化脂肪酸和醇之间的酯化反应形成酯,得到非离子型的表面活性剂,如聚乙二醇脂肪酸酯,广泛用于洗涤剂等行业。

脂肪酶具有多功能性、反应的高度区域或立体选择性、在有机溶剂的很好稳定性、宽广的底物专一性,这些特性都显示了脂肪酶具有很好的市场应用潜力,其市场份额将会越来越大。

6. 谷氨酰转肽酶

又称谷氨酰胺酶,是一种新的非常有应用前景的食品添加剂。它是一种多功能酶,能催化酰基转移,作用的受体可以是伯胺、蛋白质分子中谷氨酸的氨基,可形成蛋白质分子内和分子间的共价交联。该酶在肉制品、鱼制品、面制品和乳制品等食品工业得到了广泛的应用,能提高蛋白质的营养价值,改善外观、风味、质地;延长食品存储期,提高食品防腐能力;增强食品容水能力,不易脱水收缩;降低食品成本,从而提高食品的市场竞争力。此外,该酶在医疗保健、纺织行业也有很大用途。

7. 木聚糖酶

木聚糖酶是一种最主要的木聚糖降解酶类。主要通过内切方式降解木聚糖 β -1,4-木糖苷键,水解产物以木寡糖为主,并伴有少量的木糖和阿拉伯糖。木聚糖酶具有广泛的应用前景,在造纸工业方面,木聚糖酶可作为生物漂白剂替代传统的化学漂白工艺,从而大量降低氯的用量,有效降低造纸废水中大量的强烈的致癌、致畸的含氯物质,减轻造纸对环境的污染。在食品行业中木聚糖酶还被广泛应用于面制品、果汁等食品制作以及木寡糖的制备生产;在发酵工业中木聚糖酶已被广泛用于小麦等发酵原料的糖化处理上;在饲料行业中,木聚糖酶作为一类饲料添加剂,可有效提高饲料营养。木聚糖酶

已经成为酶制剂生产行业中的一个重要产品,拥有很大市场。

目前工业化成功利用生物转化生产的有机化合物如表 0-1。

表 0-1 工业化成功利用生物转化生产的有机化合物

过程	催化用酶	产品	全球产量/t
水解作用	淀粉葡萄糖苷酶	葡萄糖	10~2 000 万
	腈水化酶	丙烯酰胺	3 万
	青霉素酰胺水解酶	青霉素	1 万~1.5 万
拆分作用(有旋光)	乙内酰胺酶	4-羟基苯甘氨酸	100~500
拆分作用(无旋光)	脱卤酶	(s)-2-氯丙酸	2 000
氧化作用	山梨醇脱氢酶	L-山梨糖	5 万
还原作用	β -酮还原酶	L-肉碱	1.2 万
异构作用	葡萄糖(木糖)异构酶	异构糖	800 万
C-C 合成	丙酮酸脱羧酶	苯乙酰甲醇	300~500
	色氨酸苯基裂解酶	L-多巴	200
水合作用	富马酸酶	苹果酸	500
肽合成	嗜热菌蛋白酶	阿斯巴甜	2 000
	胰蛋白酶	胰岛素	<1
葡萄糖基转移作用	环状糊精葡聚糖转移酶	β -环状糊精	800~1 500

三、微生物代谢产物

1. 代谢产物的类别

微生物代谢产物包括初级代谢产物和次级代谢产物。其中初级代谢产物有氨基酸、核苷酸、蛋白质、核酸、脂质和糖类等。有些微生物的稳定期培养物中所含有的化合物,并不在营养期时出现,而且未见到对细胞代谢功能有明显的影 响,例如抗生素等,这些属于次级代谢产物。

2. 发酵工程产品

通过发酵工程技术,微生物被培养并高效地将可再生碳水化合物转化为各种有用产品,如柠檬酸、维生素、氨基酸、溶剂、抗生素、酶制剂、生物杀虫剂、生物染色剂、生物表面活性剂、生物碱、类固醇等等。发酵工程技术在食品、医药、精细化学品、生物能源、生物材料以及生物质资源化方面发挥着重要作用,对国民经济所作的贡献令人瞩目。

(1) 有机酸 有机酸是一类重要生物技术产品,在医药、食品、饲料、化工、环保等诸多领域有广泛应用。重要的有机酸有柠檬酸、乳酸、醋酸、葡萄糖酸、衣康酸、长链二元酸、琥珀酸、富马酸、苹果酸、酒石酸、丙酮酸等。工业发酵技术的进步直接推动了有机酸产业的发展,估计世界有机酸年总产值约为 200 亿元左右。

(2) 氨基酸 氨基酸是蛋白质的天然的重要组成部分。氨基酸主要应用领域是食品、饲料、化妆品、医药。据估计,全世界氨基酸年市场约为 40 亿~50 亿美元。以前只有少数几种氨基酸可以通过发酵得到,现在差不多 20 种天然存在的 L-氨基酸都能由发酵或酶技术生产制造。D-氨基酸在肽类抗生素等药物研究开发方面具有特殊重要作用,目前有不少 D-氨基酸也能由发酵或酶转化技术生产。

目前大规模工业生产的氨基酸主要有谷氨酸、赖氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸、天冬氨酸、丙氨酸等。谷氨酸以谷氨酸单钠盐的形式在食品中用作味精,2007 年味精的世界总产量超过 2.3×10^6 t,其中我国产量为 1.85×10^6 t,约占世界产量的 80%,居全球第一位。L-赖氨酸是另一个大规模生产的氨基酸,世界年产量超过 8×10^5 t,主要用作食品及饲料添加剂。L-苏氨酸年产量已达 3×10^4 t,用于食品及饲料添加剂。L-苯丙氨酸和 L-天冬氨酸主要用于合成 L-天冬氨酰苯丙氨酸甲酯(阿斯巴甜 aspartame,