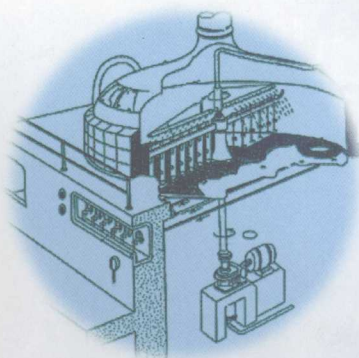


全国高等农林院校“十一五”规划教材

发酵工程与设备

邱立友 主编



 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

发酵工程与设备

邱立友 主编

邮 编：100026

短信反盗版举报：编辑短信“JB, 图书名称, 出版社, 购买地点”发送

至 9588128

短信防伪客服电话：(010) 58582300/58582301

中国农业出版社

发酵工程与设备 / 邱立友主编. — 北京: 中国农业出版社, 2007.8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11927-7

I. 发… II. 邱… III. ①发酵工程-高等学校-教材
②发酵-化工设备-高等学校-教材 IV. TQ92

发酵培养基设计、发酵工业无氧技术、发酵工程原理与实验、微生物发酵罐的设计、通风与流体的理论与实验、
发酵过程的监测与控制、发酵工业原料的输送与处理。
发酵工程下游工程技术各单元操作的原理和设备、发酵
经济学以及生物工程产品市场分析。

地址：北京市昌平区回龙观镇中二街1号中国科学院计算所生物信息中心
邮编：100086

E-mail: wlxvayav@sohu.com
电话：(010) 65002926
传真：(010) 65002897

在编写过程中，充分考虑了高等农林院校的课程设置与工科院校的差别，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进，少数学运算和中间推理，使之成为学生易学、工程技术人员易用的教科书和参考书。并根据发酵工业范围的发展和基因工程的深入应用，增加了动植物细胞和基因工程菌发酵的内容。本书可作为高等院校生物工程专业及相关专业的教材，也可作为发酵工业生产、科研人员的参考书。

责任编辑 李国忠

中国农业大学出版社
（北京市朝阳区农展馆北路2号）
（邮政编码 100026）

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2007年8月第1版 2007年8月北京第1次印刷

开本: 820 mm×1080 mm 1/16 印张: 30.75

字数：732 千字

定价：43.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

幾

中國出版集團

主 编 邱立友 (河南农业大学)

副主编 宋 渊 (中国农业大学)

田洪涛 (河北农业大学)

胡开辉 (福建农林大学)

编 者 (以姓氏笔画为序)

田洪涛 (河北农业大学)

任大明 (沈阳农业大学)

刘训理 (山东农业大学)

李 刚 (河南科技学院)

李大鹏 (黑龙江八一农垦大学)

邱立友 (河南农业大学)

宋 渊 (中国农业大学)

张世敏 (河南农业大学)

胡开辉 (福建农林大学)

段开红 (内蒙古农业大学)

侯红萍 (山西农业大学)

盛下放 (南京农业大学)

葛向阳 (华中农业大学)

潘春梅 (郑州牧业工程高等专科学校)

六十章) 王开明 (章八十章) 谢春微 (章九十章) 胡向喜 (章五十章) 傅世强 (章三
。薛文立由全, 宝审了计批薛时依职开随咏表崇田, 阮宋。(章
, 阮阮易党野工赖党干由。意徽表第 **前 言** 的个同委书了李委中野阮早薛立
虽不咏斯薛, 薛别平本香薛土咏, 薛本人薛外野非薛薛未果如咏咏木对薛, 点则薛是野薛立
。五薛野薛皆野野野野野, 美野野野野野

近年来, 随着分子生物学以及基因工程、细胞工程、酶工程、代谢工程等新理论和新技术的不断发展, 结合现代生物过程控制及生物分离工程技术的巨大进步, 现代发酵工业在传统发酵工业的基础上, 在深度和广度上都发生了深刻的变革。基因工程菌的广泛应用, 能够生产越来越多的医药用蛋白质; 动植物细胞的大规模工业化培养, 发酵生产出许多具高价值的单克隆抗体、激素、疫苗、药物等。发酵工业在农业、食品工业、医药工业、能源工业、化学工业、环境保护等领域影响人们的生活, 发挥重要的作用, 成为 21 世纪十分活跃的一门集成了生物学、化学和工程技术学的交叉学科。

因此, 发酵工程原理与设备课程被选定为高等学校与生命科学相关的专业生物科学、生物技术和生物工程专业的骨干课程, 在高等农林院校也不例外。然而, 长期以来, 高等农林院校该门课程所用教材大多使用工科院校编写的教材, 由于高等农林院校课程体系和学生的知识结构与工科院校有所不同, 工科院校教材重数学运算、重工程设计和重下游工程并不十分适合于农林院校学生。不同类型院校培养的学生应具有各自的特色, 在工作中相互补充, 相辅相成, 而不应是千人一面。所以, 在进入又一个五年规划之际, 中国农业出版社决定编写一本适合高等农林院校使用的发酵工程原理与设备教材及其配套的实验指导, 并委托邱立友会同我国高等农林院校相关具有丰富教学和实践经验的老师编写。

本教材共分 20 章, 系统介绍了发酵工程所涉及的基本原理、理论和方法, 在此基础上对典型发酵过程进行了阐述, 以促进理论与实际更好地结合。内容包括发酵工业菌种选育和扩大培养的理论、工业发酵培养基设计、发酵工业无菌技术、发酵动力学、动植物和微生物发酵罐的设计、通风与搅拌的理论、发酵过程的监测与控制、发酵工业原料的输送与处理、发酵工程下游工程技术各单元操作的原理和设备、发酵经济学以及典型的液体通风发酵、液体嫌气发酵和固体发酵过程等。为节省篇幅, 有关发酵工程的技术和方法的详细内容另编为《发酵工程与设备实验》。

参加本书编写的有: 邱立友 (第一章、第七章和第二十章)、胡开辉 (第二章)、盛下放 (第三章和第四章)、田洪涛 (第五章)、李大鹏 (第六章)、宋渊 (第八章)、李刚 (第九章、第十四章和第十六章)、侯红萍 (第十章)、刘训理 (第十一章)、任大明 (第十二章和第十

三章)、张世敏(第十五章)、葛向阳(第十七章)、潘春梅(第十八章)和段开红(第十九章)。宋渊、田洪涛和胡开辉对初稿进行了审定,全书由邱立友统稿。

在编写过程中参考了许多同仁的著作和论文,在此深表谢意。由于发酵工程发展迅速,还有很多新观点、新技术和新成果未能消化吸收编入本书,加上编者水平限制,错误和不足之处在所难免,诚恳希望读者批评指正。

发酵工程是生物工程的重要组成部分,是生物工程的核心。随着生物技术的飞速发展,发酵工程在国民经济中占有越来越重要的地位。本书系统地介绍了发酵工程的基本理论、基本知识和基本技能,重点介绍了发酵工程的生产实践。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。本书由宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红、邱立友等编写,其中宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红负责编写第一章至第七章,邱立友负责编写第八章至第十九章。本书于2007年7月出版。

本书在编写过程中,参考了国内外许多有关发酵工程的书籍和文献,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。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。本书由宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红、邱立友等编写,其中宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红负责编写第一章至第七章,邱立友负责编写第八章至第十九章。本书于2007年7月出版。

本书在编写过程中,参考了国内外许多有关发酵工程的书籍和文献,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。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。本书由宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红、邱立友等编写,其中宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红负责编写第一章至第七章,邱立友负责编写第八章至第十九章。本书于2007年7月出版。

本书在编写过程中,参考了国内外许多有关发酵工程的书籍和文献,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。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。本书由宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红、邱立友等编写,其中宋渊、田洪涛、胡开辉、张世敏、葛向阳、潘春梅、段开红负责编写第一章至第七章,邱立友负责编写第八章至第十九章。本书于2007年7月出版。

一、菌种保藏的基本原理和方法	39
二、菌种的保藏机构	41
三、菌种的退化及防止	42
第五节 发酵工程菌种的扩大培养	43
一、菌种扩大培养的程序	43
二、种子质量的检查与判断	44
三、影响种子质量的主要因素	45
复习思考题	48
主要参考文献	48
第三章 工业发酵培养基	50
第一节 培养基的组成成分	52
一、工业上常用的碳源	52
二、工业上常用的氮源	54
三、无机盐及微量元素	56
四、水	57
五、生长因子	57
六、前体	58
七、产物促进剂、诱导物和抑制剂	60
八、螯合剂	62
九、缓冲剂	63
十、需氧量	63
十一、消泡剂	63
第二节 种子培养基	64
一、液体种子培养基	65
二、产孢培养基	66
第三节 发酵培养基的设计和優化	68
一、培养基的配比	68
二、培养基的优化	70
第四节 动物细胞培养基	70
一、血清	70
二、无血清培养基	71
三、微量元素	71
四、等渗透压	71
五、pH	71
六、非营养性培养基成分	72
复习思考题	72

381	主要参考文献	72
381	第四章 灭菌	74
381	第一节 培养基灭菌	74
381	一、培养基灭菌动力学——对数残留定律	75
381	二、分批灭菌工艺设计	80
381	三、连续灭菌工艺设计	83
381	第二节 发酵培养基的过滤除菌	88
381	一、过滤除菌机理	88
381	二、培养基的过滤除菌	89
381	第三节 空气过滤除菌	91
381	一、发酵生产对空气无菌程度的要求	91
381	二、空气除菌方法	92
381	三、单根纤维过滤除菌的机理	93
381	四、深层过滤的原理——对数穿透定律	96
381	五、深层过滤器设计	98
381	六、常用的过滤介质	99
381	七、常用的空气过滤除菌流程及其组成设备	103
381	第四节 发酵罐废气的过滤除菌	110
381	复习思考题	110
381	主要参考文献	111
381	第五章 发酵动力学	112
381	第一节 发酵动力学概论	112
381	一、发酵动力学的定义、研究内容及目的意义	112
381	二、研究发酵动力学的步骤与建立数学模型的一般原则	112
381	三、发酵动力学的主要参数描述	112
381	第二节 分批培养与发酵动力学	114
381	一、分批培养与发酵的定义及特点	114
381	二、分批培养与发酵微生物生长动力学	115
381	三、分批发酵产物生成动力学	121
381	四、分批培养与发酵的得率和生产率	123
381	第三节 连续培养与发酵动力学	124
381	一、连续培养与发酵的定义及特点	124
381	二、连续培养与发酵的类型	125
381	三、连续培养与发酵中微生物生长动力学方程	127
381	四、常见连续培养与发酵系统的动力学	128

57	五、连续培养与发酵的应用	132
47	第四节 补料分批培养与发酵动力学	136
47	一、补料分批培养与发酵的定义及特点	136
47	二、补料分批培养与发酵的类型	136
27	三、变体积补料分批培养动力学	137
08	四、恒体积补料分批培养	138
38	五、循环补料分批培养动力学	139
88	六、补料分批培养的实际应用	139
88	复习思考题	140
08	主要参考文献	141
10	第六章 发酵罐设计	142
50	第一节 机械搅拌发酵罐	143
30	一、发酵罐的结构	143
00	二、发酵罐的几何尺寸比例和容积	152
80	第二节 其他类型的液体通风发酵罐	154
00	一、气升式发酵罐	154
101	二、自吸式发酵罐	158
101	三、伍式发酵罐	161
01	第三节 动植物细胞培养反应器	162
111	一、动物细胞培养反应器	162
111	二、植物细胞培养反应器	165
111	复习思考题	166
111	主要参考文献	167
111	第七章 通风与搅拌	168
11	第一节 搅拌器轴功率的计算	168
111	一、搅拌器轴功率与操作变数之间的关系	168
111	二、非牛顿型流体搅拌器轴功率与操作变数之间的关系	171
21	第二节 通风	174
151	一、工业发酵对氧的需求	174
351	二、氧的供给	175
451	三、 K_La 值的测定	176
451	四、发酵罐中影响 K_La 值的因素	180
251	五、供氧和耗氧的平衡	188
75	第三节 比拟放大和比拟缩小	189
351	一、机械搅拌发酵罐通风和搅拌的比拟放大	190

二、气升式发酵罐的比拟放大	192
三、比拟缩小	192
复习思考题	192
主要参考文献	193
第八章 发酵过程的监测与控制	194
第一节 发酵过程的主要控制参数及其监测方法	194
一、物理参数	195
二、化学参数	196
三、生物参数	198
第二节 环境条件对发酵的影响及控制	198
一、温度对发酵的影响及控制	198
二、pH 对发酵的影响及控制	201
三、溶解氧对发酵的影响及控制	203
四、二氧化碳对发酵的影响及控制	206
五、泡沫对发酵的影响及控制	208
六、染菌分析与控制	211
第三节 发酵过程控制系统	213
一、过程控制系统简介	213
二、计算机在发酵工程中的应用	218
复习思考题	222
主要参考文献	222
第九章 发酵工业物料的预处理与输送	223
第一节 固体物料的预处理	223
一、固体物料的除杂和筛选	223
二、固体物料的粉碎	225
第二节 固体物料的机械输送	228
一、带式输送机	228
二、斗式提升机	233
三、螺旋输送机械	236
第三节 固体物料的气流输送	241
一、气流输送流程	241
二、气流输送系统的组成设备	243
三、气流输送系统的计算	245
第四节 流体物料输送设备	249
一、离心泵	250

101	二、螺杆泵	251
101	三、齿轮泵	252
101	四、滑片泵	252
101	五、真空泵	253
101	复习思考题	255
101	主要参考文献	255
101	第十章 发酵液预处理和液相非均一体系分离技术	256
101	第一节 发酵液预处理	257
101	一、改变发酵液的过滤特性	257
101	二、除去高价无机离子	259
101	第二节 沉降与回旋分离	260
101	一、沉降分离原理与设备	260
101	二、回旋分离原理及设备	265
101	第三节 过滤速度的强化	266
101	一、过滤介质的选择	266
101	二、过滤速度的强化	270
101	第四节 过滤设备	272
101	一、常压过滤机	272
101	二、加压过滤机	274
101	第五节 离心分离设备	278
101	一、离心分离原理	278
101	二、三足式离心机	280
101	三、碟片式分离机	281
101	四、管式高速离心机	283
101	复习思考题	284
101	主要参考文献	284
101	第十一章 沉淀、吸附和溶剂萃取	286
101	第一节 沉淀法	286
101	一、盐析法	286
101	二、等电点沉淀法	288
101	三、有机溶剂沉淀法	288
101	第二节 吸附法	289
101	一、吸附的概念	289
101	二、吸附的类型	290
101	三、影响吸附的因素	290

四、常用的吸附剂	291
第三节 溶剂萃取法	293
一、有关萃取的几个基本概念	293
二、萃取方法和理论收率的计算	294
三、影响溶剂萃取的因素	296
复习思考题	298
主要参考文献	298
第十二章 离子交换分离	299
第一节 离子交换分离技术的基本原理	299
第二节 离子交换剂的类型与结构	300
一、离子交换树脂	300
二、多糖基离子交换剂	301
第三节 离子交换剂的理化性能	303
一、离子交换树脂的理化性能	303
二、多糖基离子交换剂的理化性能	305
第四节 离子交换操作方法	305
一、离子交换树脂的操作	305
二、离子交换纤维素的操作	308
第五节 离子交换分离技术的应用	310
复习思考题	311
主要参考文献	311
第十三章 膜分离技术	312
第一节 膜分离技术发展概况	312
第二节 膜及其组件	312
一、膜及其基本特性	313
二、膜的分类	313
三、膜的特性参数	314
四、膜组件	315
第三节 膜分离的操作模式	318
一、常规过滤	318
二、错流过滤	318
第四节 微滤	318
一、微滤的基本概念和分离范围	319
二、微滤的基本原理	319
三、微滤分离方法的选择	320

四、微滤的应用	320
第五节 超滤	321
一、超滤的基本原理	321
二、超滤膜与膜材料	321
三、影响超滤的因素	322
四、超滤的应用	323
第六节 反渗透	324
一、反渗透的基本原理	324
二、反渗透膜的分类	325
三、反渗透分离方法的选择依据	325
四、反渗透的应用	326
复习思考题	326
主要参考文献	327
第十四章 蒸馏设备	328
第一节 酒精蒸馏流程	328
一、酒精蒸馏的目的	328
二、酒精蒸馏流程	330
第二节 酒精粗馏塔	335
一、塔板的类型及结构	335
二、粗馏塔的主要技术参数及其控制	338
第三节 精馏塔	338
一、精馏塔的类型及结构	339
二、几种精馏塔塔板的比较	339
三、精馏塔的主要技术参数及其控制	340
第四节 排醛塔和脱甲醇塔	340
一、排醛塔	340
二、脱甲醇塔	341
第五节 塔板的操作范围	342
复习思考题	343
主要参考文献	343
第十五章 蒸发与结晶设备	344
第一节 蒸发设备	344
一、常压蒸发设备	345
二、真空蒸发设备	347
三、蒸发浓缩过程的节能	355

88	第二节 结晶设备	356
783	一、结晶原理	356
783	二、结晶设备	360
88	复习思考题	368
88	主要参考文献	368
903	第十六章 干燥设备	369
103	第一节 干燥设备的分类与选型	369
303	一、干燥器的分类	369
303	二、干燥器的选型	370
303	第二节 麦芽干燥设备	370
304	一、麦芽干燥的目的	370
304	二、麦芽干燥设备的种类	371
304	三、麦芽干燥塔类型、特点及构造	371
304	四、各种干燥炉的耗能和生产能力比较	373
304	第三节 气流干燥设备	373
304	一、气流干燥的原理、特点及形式	373
304	二、长管气流干燥设备	374
304	三、旋风气流干燥设备	375
304	第四节 沸腾干燥设备	376
304	一、沸腾干燥的原理、特点及形式	376
304	二、单层沸腾干燥设备	376
304	三、卧式多室沸腾干燥设备	377
304	四、振动流化床干燥设备	378
304	五、沸腾造粒干燥设备	378
304	第五节 喷雾干燥设备	380
304	一、喷雾干燥的原理及方法	380
304	二、气流喷雾干燥设备	382
304	三、离心喷雾干燥设备	382
304	四、压力喷雾干燥设备	384
304	复习思考题	385
304	主要参考文献	385
304	第十七章 典型固态发酵工程与设备	386
304	第一节 固态发酵概述	386
304	一、固态发酵的定义	386
304	二、固态发酵的特点	386

三、固态发酵的分类	386
四、适合固态发酵的微生物	387
五、固态发酵的应用前景	387
第二节 固态发酵反应器	388
一、静态固态发酵反应器	388
二、动态固态发酵反应器	390
三、新型固态发酵反应器	391
第三节 典型固态发酵过程	393
一、固态法白酒生产过程	393
二、饲用复合酶固态发酵过程	399
三、枯草芽孢杆菌固态发酵工艺	402
复习思考题	403
主要参考文献	403
第十八章 典型液体好氧发酵生产	404
第一节 谷氨酸发酵与味精生产	404
一、概述	404
二、谷氨酸的生物合成原理	405
三、谷氨酸的发酵工艺过程	406
四、谷氨酸的提取与味精制造	414
第二节 纤维素酶发酵工艺	419
一、概述	419
二、纤维素酶的发酵工艺过程	421
三、纤维素酶的提取与制备	424
第三节 四环素发酵工艺	426
一、概述	426
二、四环素的生物合成	427
三、四环素的发酵工艺过程	427
四、四环素的提取与精制	430
复习思考题	432
主要参考文献	432
第十九章 典型液体嫌气发酵工程与设备	434
第一节 嫌气性发酵设备	434
一、嫌气性发酵设备分类和结构特征	434
二、酒精发酵设备	435
三、啤酒发酵设备	439