



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十三五”精品课程建设教材

Introduction of Food  
Biotechnology

# 食品生物技术导论

第3版

罗云波◎主 编

生吉萍 郝彦玲◎副主编



中国农业大学出版社

China Agricultural University Press



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十三五”精品课程建设教材

# 食品生物技术导论

第3版

罗云波 主编

生吉萍 郝彦玲 副主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本教材系统地介绍了生物技术的基本原理,通过案例阐述生物技术在食品领域的应用,力求体现食品科学的特点,并采用了二维码技术对重要的知识点进行扩充。全书共 10 章,包括绪论、基因工程与食品产业、细胞工程与食品产业、蛋白质工程、食品酶工程、发酵工程、转基因生物反应器、生物工程下游技术、现代生物技术与食品安全、组学技术及生物信息学技术与食品产业。

本书可作为高等院校食品科学与工程、食品质量与安全、生物技术与工程等专业本科生的教材,也可以作为研究生和相关专业科技人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品生物技术导论/罗云波主编.—3 版.—北京:中国农业大学出版社,2016.5

ISBN 978-7-5655-1555-2

I. ①食… II. ①罗… III. ①生物技术-应用-食品工业 IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 079829 号

书 名 食品生物技术导论 第 3 版

作 者 罗云波 主编

策划编辑 宋俊果 刘 军

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 2016 年 8 月第 3 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 26.75 印张 660 千字

定 价 49.00 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

全国高等学校食品类专业系列教材  
编审指导委员会委员

(按姓氏拼音排序)

- |     |        |     |              |
|-----|--------|-----|--------------|
| 毕 阳 | 甘肃农业大学 | 孟素荷 | 中国食品科学技术学会   |
| 陈 卫 | 江南大学   | 南庆贤 | 中国农业大学       |
| 陈复生 | 河南农业大学 | 蒲 彪 | 四川农业大学       |
| 陈绍军 | 福建农林大学 | 钱建亚 | 扬州大学         |
| 陈宗道 | 西南大学   | 石阶平 | 国家食品药品监督管理总局 |
| 董海洲 | 山东农业大学 | 史贤明 | 上海交通大学       |
| 郝利平 | 山西农业大学 | 孙宝国 | 北京工商大学       |
| 何国庆 | 浙江大学   | 孙远明 | 华南农业大学       |
| 贾英民 | 河北科技大学 | 田洪涛 | 河北农业大学       |
| 江连洲 | 东北农业大学 | 王 硕 | 天津科技大学       |
| 李洪军 | 西南大学   | 夏延斌 | 湖南农业大学       |
| 李新华 | 沈阳农业大学 | 谢笔钧 | 华中农业大学       |
| 李云飞 | 上海交通大学 | 谢明勇 | 南昌大学         |
| 林家栋 | 中国农业大学 | 薛长湖 | 中国海洋大学       |
| 刘金福 | 天津农学院  | 严卫星 | 国家食品安全风险评估中心 |
| 刘景圣 | 吉林农业大学 | 岳田利 | 西北农林科技大学     |
| 刘静波 | 吉林大学   | 赵丽芹 | 内蒙古农业大学      |
| 罗云波 | 中国农业大学 | 赵谋明 | 华南理工大学       |
| 马 涛 | 渤海大学   | 周光宏 | 南京农业大学       |

## 第3版编写人员

主 编 罗云波(中国农业大学)

副主编 生吉萍(中国人民大学)

郝彦玲(中国农业大学)

编 者 (按拼音顺序排名)

包秋华(内蒙古农业大学)

陈宗道(西南大学)

郝彦玲(中国农业大学)

何国庆(浙江大学)

黄昆仑(中国农业大学)

罗云波(中国农业大学)

曲桂芹(中国农业大学)

申 琳(中国农业大学)

生吉萍(中国人民大学)

田洪涛(河北农业大学)

徐凤彩(华南农业大学)

许文涛(中国农业大学)

张柏林(北京林业大学)

郑亚凤(福建农林大学)

朱本忠(中国农业大学)

## 第2版编审人员

主 编 罗云波(中国农业大学)  
生吉萍(中国农业大学)

编 者 (按拼音顺序排名)  
陈宗道(西南大学)  
郝彦玲(中国农业大学)  
何国庆(浙江大学)  
黄昆仑(中国农业大学)  
罗云波(中国农业大学)  
曲桂芹(中国农业大学)  
申 琳(中国农业大学)  
生吉萍(中国农业大学)  
田洪涛(河北农业大学)  
徐凤彩(华南农业大学)  
张柏林(北京林业大学)  
朱本忠(中国农业大学)

审 稿 吴显荣(中国农业大学)

# 第1版编审人员

主 编 罗云波(中国农业大学)

副主编 生吉萍(中国农业大学)  
陈宗道(西南农业大学)

编 者 (按拼音顺序排名)  
陈宗道(西南农业大学)  
何国庆(浙江大学)  
黄昆仑(中国农业大学)  
罗云波(中国农业大学)  
申 琳(中国农业大学)  
生吉萍(中国农业大学)  
徐凤彩(华南农业大学)  
张柏林(河北农业大学)

审 稿 吴显荣(中国农业大学)

# 出版说明

## (代总序)

时光荏苒,食品科学与工程系列教材第一版发行距今,已有14年。总计120余万册的发行量,已经表明了这套教材受欢迎的程度,应该说它是全国食品类专业教育使用最多的系列教材。

这套教材已成为经典,作为总策划的我,在再再版的今天,重新翻阅这套教材的每一科目、每一章节,在感慨流年如水的同时,更有许多思考和感激。这里,借写出版说明(代总序)的机会,再一次总结本套教材的编撰理念和特点特色,也和我挚爱的同行们分享我的感悟和喜乐。

第一,优秀的教材一定是心血凝成的精品,杜绝任何形式的粗制滥造。

14年前,全国40余所大专院校、科研院所,300多位一线专家教授,涵盖生物、工程、医学、农学等领域,齐心协力组建出一支代表国内食品科学最高水平的教材撰写队伍。著作者们呕心沥血,在教材中倾注平生所学,那字里行间,既有学术思想的精粹凝结,也不乏治学精神的光华闪现,诚所谓学问人生,经年积成,食品世界,大家风范。这精心的创作,和彼敷衍的粘贴,其间距离,岂止云泥!

第二,优秀的教材必以学生为本,不是居高临下的自说自话。

注重以学生为本,就是彻底摒弃传统填鸭式的教学方法。著作者们谨记“授人以鱼不如授人以渔”,在传授食品科学知识的同时,更启发食品科学人才获取知识和创造知识的思维与灵感。润物细无声中,尽显自由思想,彰耀独立精神。在写作风格上,也注重学生的参与性与互动性,接地气,说实话,深入浅出,有料有趣。

第三,优秀教材与时俱进、推陈出新,绝不墨守成规、原地不动。

首版再版再再版,均是在充分收集和尊重一线任课教师和学生意见的基础上,对新增教材进行科学论证和整体策划。每一次工作量都不小,几乎覆盖食品学科专业的所有骨干课程和主要选修课程,但每一次都不敢有丝毫懈怠,内容的新颖性,教学的有效性,齐头并进,一样都不能少。具体而言,此次再再版,不仅增添了食品科学与工程最新理论发展,又以相当篇幅强调了食品工艺的具体实践。



每本教材,既相对独立又相互衔接互为补充,构建起系统、完整、实用的课程体系。

第四,优秀教材离不开出版社编辑人员的心血倾注。

同为他人作嫁衣裳,教材的著作者和编辑,都一样的忙忙碌碌,飞针走线。这套系列教材的编辑们站在出版前沿,以其炉火纯青的专业技能,辅以最新最好的出版传播方式,保证了这套教材的出版质量和形式上的生动活泼。编辑们的高超水准和辛勤努力,赋予了此套教材蓬勃旺盛的生命力。

这里,我也想和同行们分享以下数字,以表达我发自内心的喜悦:

第1版食品科学与工程系列教材出版于2002年,涵盖食品学科15个科目,全部入选“面向21世纪课程教材”。

第2版(再版)食品科学与工程系列教材出版于2009年,涵盖食品学科29个科目。

第3版(再再版)食品科学与工程系列教材将于2016年暑期出版(其中《食品工程原理》为第4版),涵盖食品学科36个科目,增加了《食品工厂设计》《食品分析》《食品感官评价》《葡萄酒工艺学》《生物技术安全与检测》等9个科目,调整或更名了部分科目。

需要特别指出的是,这其中,《食品生物技术导论》《食品安全导论》《食品营养学》《食品工程原理》4个科目为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;《食品化学》《食品化学综合实验》《食品工艺学导论》《粮油加工学》《粮油加工学实验技术》《食品酶学与工程》6个科目为普通高等教育农业部“十二五”规划教材;《食品生物技术导论》《食品营养学》《食品工程原理》《粮油加工学》《食品试验设计与统计分析》为“十五”或“十一五”国家级规划教材。

本套食品科学与工程系列教材出版至今已累计发行超过126万册,使用教材的院校140余所。

第3版有500余人次参与编写,参与编写的院所近80家。

本次出版在纸质基础上引入了数字化元素,增加了二维码,内容涉及推荐阅读文字,直观的图片展示,以及生动形象的短小视频等,使教材的内容更加丰富、信息量更大,形式更加活泼,使用更加便捷,与学生的阅读和学习习惯更加贴近。

虽然我的确有敝帚自珍的天性,但我也深深地知道,世上的事没有百分之百的完美。我还要真心地感谢在此套教材中肯定存在的那些不完美,因为正是她们给了我们继续向前的动力。这里,我真诚地期待大家提出宝贵意见,让我们与这套教材一起共同成长,更加进步。

罗云波

2016年5月5日于马连洼

# 第3版前言

在全体编委成员的共同努力下,本教材第1版和第2版深受广大同行和读者的欢迎,出版以来多次印刷,被许多院校选用。教材先后被教育部评审为“面向21世纪课程教材”、“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”,并被北京市教委评审为“北京市精品教材”。

为适应食品生物技术学科日新月异的发展,更好地满足新形势下的教学要求,我们决定在第2版的基础上对教材进行修订。本次修订结合最新生物技术研究进展,在保持原有体系的基础上,对各章内容进行了全面更新,并增加“组学技术及生物信息学技术与食品产业”一个新的章节。为更好地推进传统出版与新型出版融合,发挥信息技术对教学的积极作用,本版教材采用了二维码技术将教学内容加以扩展,方便读者扫描参考学习。

本书着重阐述食品生物技术的基本理论和该领域国内外的最新研究进展,通过案例介绍生物技术在食品领域中的应用,力求体现食品学科的特点。全书分10章,分别为绪论、基因工程与食品产业、细胞工程与食品产业、蛋白质工程、食品酶工程、发酵工程、转基因生物反应器、生物工程下游技术以及现代生物技术与食品安全、组学技术及生物信息学技术与食品产业等内容。

教材由全国多所院校共同参与编写,汇集了从事本领域研究的前沿力量,同时也有在校研究生和本科生的思想和要求的反映,是集体智慧的结晶。具体分工为:第1章由罗云波编写,第2章由生吉萍、朱本忠编写,第3章由何国庆、曲桂琴编写,第4章由生吉萍、张柏林编写,第5章由申琳、生吉萍、郑亚凤、徐凤彩编写,第6章由田洪涛、张柏林编写,第7章由郝彦玲、包秋华编写,第8章由陈宗道编写,第9章由许文涛、黄昆仑、罗云波编写,第10章由朱本忠、郝彦玲、许文涛编写。

在编写过程中,得到中国农业大学出版社的大力协助。由于时间紧迫、内容涉及面广以及生物技术发展迅速,书中疏漏和不妥之处在所难免,衷心期待诸位同仁和读者的惠正。

罗云波

2015年12月于北京

## 第 2 版前言

本教材被教育部审批为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”<sup>\*</sup>,是在第 1 版“面向 21 世纪课程教材”基础上修订出版。第 1 版于 2002 年出版,发行很好,受到全国数十所院校师生的好评,并被评为“北京市精品教材”。本书着重阐述食品生物技术的基本理论和该领域国内外的最新研究进展,通过案例介绍生物技术在食品领域中的应用,力求体现食品学科的特点,在内容和形式上有所创新。本次修订结合最新生物技术研究进展,在保持原有体系的基础上,增加了部分最新研究成果的内容。

全书分 9 章,分别阐述绪论、基因工程与食品产业、细胞工程与食品产业、蛋白质工程、食品酶工程、发酵工程、转基因生物反应器、生物工程下游技术以及现代生物技术与食品安全等内容。

本书由全国多所院校共同参与编写,汇集了从事本领域研究的前沿力量,同时也有在校研究生和本科生的思想和要求的反映,是集体智慧的结晶。具体分工为:第 1 章绪论由罗云波编写,第 2 章由生吉萍、朱本忠编写,第 3 章由何国庆、曲桂琴编写,第 4 章由生吉萍、张柏林编写,第 5 章由申琳、徐凤彩、生吉萍编写,第 6 章由田洪涛、张柏林编写,第 7 章由郝彦玲编写,第 8 章由陈宗道编写,第 9 章由黄昆仑、罗云波编写。在编写和审稿过程中,承蒙吴显荣教授的悉心指导和审阅,以及中国农业大学出版社的大力协助。由于时间紧迫、内容涉及面广以及生物技术发展的日新月异,书中疏漏和不妥之处在所难免,衷心期待诸位同仁和读者的惠正。

罗云波 生吉萍  
2011 年 3 月于北京

<sup>\*</sup> 本书出版后在 2014 年又被审批为“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”。

# 第 1 版前言

本教材被国家教育部评审为面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目研究的成果(04—10),也被列为普通高等教育“十五”国家级规划教材。本教材着重阐述食品生物技术的基本理论和该领域国内外的最新研究进展,通过案例介绍生物技术在食品领域中的应用,力求体现食品学科的特点,在内容和形式上有所创新。

本教材共分 8 章,分别阐述绪论、基因工程与食品产业、细胞工程与食品产业、酶工程与食品产业、蛋白质工程与食品产业、发酵工程与食品产业、食品生物工程下游技术以及现代生物技术与食品安全等内容。

本书由全国多所院校共同参与编写,汇集了从事本领域研究的前沿力量,同时也有在校研究生和本科生的思想和要求的反映,是集体智慧的结晶。本书编写人员的分工为:第 1 章绪论由罗云波编写,第 2 章由生吉萍编写,第 3 章由何国庆编写,第 4 章由徐凤彩、申琳编写,第 5 章由张柏林、生吉萍编写,第 6 章由张柏林编写,第 7 章由陈宗道编写,第 8 章由黄昆仑编写。在编写和审稿过程中,承蒙吴显荣教授的悉心指导和审阅,以及中国农业大学出版社的大力协助。由于时间紧迫、内容涉及面广以及生物技术发展的日新月异,书中疏漏和不妥之处在所难免,衷心期待诸位同仁和读者的惠正。

作 者

2002 年 7 月于北京

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 食品生物技术的基本概念与发展中的重大历史事件	2
1.1.1 食品生物技术发展中的重大历史事件	2
1.1.2 食品生物技术的基本概念	3
1.2 食品生物技术研究的内容	5
1.2.1 基因工程	5
1.2.2 细胞工程	5
1.2.3 蛋白质工程	6
1.2.4 酶工程	7
1.2.5 发酵工程	7
1.2.6 生物工程下游技术	8
1.2.7 转基因生物反应器	8
1.2.8 现代分子检测技术	9
1.2.9 组学技术与生物信息学技术	10
1.3 食品生物技术在食品工业发展中的地位和作用	11
1.4 食品生物技术研究和应用进展与展望	12
1.4.1 生物技术研究和应用进展	12
1.4.2 现代生物技术的展望	16
第 2 章 基因工程与食品产业	19
2.1 基因工程概述	20
2.1.1 基因工程的概念	20
2.1.2 基因工程的理论基础	21
2.1.3 基因工程的主要内容	22
2.1.4 基因工程的发展概况	22
2.2 DNA 分子的提取与检测技术	24
2.2.1 天然 DNA 的分类与存在形式	24
2.2.2 DNA 的提取	24
2.2.3 食品中 DNA 的提取	25
2.2.4 DNA 的检测——凝胶电泳技术	26
2.3 工具酶和基因载体	27
2.3.1 基因工程的工具酶	28

2.3.2	基因工程载体	34
2.4	基因工程的基本技术	48
2.4.1	目的基因的获得与序列分析	48
2.4.2	目的基因与载体的连接(重组与克隆)	60
2.4.3	重组 DNA 向受体的转化	63
2.4.4	植物细胞转化技术	66
2.4.5	重组体的筛选与外源基因的鉴定	69
2.4.6	反义基因技术	77
2.4.7	RNA 沉默技术	79
2.5	基因工程在食品产业中的应用	82
2.5.1	利用基因工程改造食品微生物	82
2.5.2	利用基因工程改善动物食品原料的品质	85
2.5.3	利用基因工程改进食品生产工艺	92
2.5.4	利用基因工程改良食品的风味	93
2.5.5	利用基因工程生产食品添加剂及功能性食品	94
<b>第 3 章</b>	<b>细胞工程与食品产业</b>	<b>98</b>
3.1	细胞工程的基本原理	99
3.1.1	细胞工程的概念和分类	99
3.1.2	细胞基础概述	99
3.1.3	细胞工程的基本操作和技术	101
3.2	细胞培养技术	102
3.2.1	微生物细胞的培养	102
3.2.2	植物细胞的培养	108
3.2.3	动物细胞的培养	113
3.3	细胞融合技术	118
3.3.1	细胞融合的定义和意义	118
3.3.2	细胞融合的原理与方法	118
3.3.3	微生物原生质体的制备与融合	119
3.3.4	植物原生质体的制备	120
3.3.5	动物单细胞的获得	121
3.3.6	融合子的筛选	121
3.4	植物细胞工程及其在食品工业的应用	124
3.4.1	植物细胞工程概述	124
3.4.2	提高植物细胞培养次生代谢产物的策略	125
3.4.3	植物细胞工程在食品工业的应用	127
3.5	动物细胞工程及其在食品中的应用	129
3.5.1	动物细胞工程概述	129
3.5.2	影响动物细胞反应的因素	129
3.5.3	动物细胞工程的应用	131

第 4 章 蛋白质工程	136
4.1 概述	137
4.1.1 蛋白质的结构与功能	137
4.1.2 食品蛋白质的功能特性	141
4.1.3 蛋白质工程的概念	144
4.1.4 蛋白质工程的研究内容	144
4.1.5 蛋白质工程的发展历史	144
4.2 蛋白质工程的基本步骤与改造策略	146
4.2.1 蛋白质工程的基本步骤	146
4.2.2 蛋白质工程的改造策略与方法	147
4.3 蛋白质的改造方法	148
4.3.1 初级改造	148
4.3.2 结构域的拼接(蛋白质分子的高级改造)	154
4.3.3 全新蛋白质的设计与构建	159
4.3.4 蛋白质工程的新策略——蛋白质的定向改造	162
4.4 蛋白质工程在食品中的应用	165
4.4.1 消除酶的被抑制特性	165
4.4.2 引入二硫键,改善蛋白质的热稳定性	166
4.4.3 转化氨基酸残基,改善蛋白质热稳定性	167
4.4.4 改变酶的最适 pH 条件	168
4.4.5 提高酶的催化活性	168
4.4.6 修饰酶的催化特异性	169
4.4.7 蛋白质定向改造的例子——木聚糖酶的改造	169
4.4.8 预测蛋白质结构	170
4.4.9 修饰 Nisin 的生物防腐效应	171
第 5 章 食品酶工程	174
5.1 食品酶工程概述	175
5.1.1 酶工程的概念及其在生物工程中的地位	175
5.1.2 酶工程的分类和内容	175
5.1.3 酶工程的发展、意义及展望	177
5.2 酶的生产与改造	179
5.2.1 酶的生产与分离纯化技术	179
5.2.2 酶的改造与修饰技术	185
5.3 酶的固定化及其生产应用技术	195
5.3.1 固定化酶技术	195
5.3.2 固定化细胞	200
5.3.3 酶反应器和酶传感器	201
5.4 酶工程在食品中的应用	209
5.4.1 食品酶工程在啤酒生产中的应用	211

5.4.2	食品酶工程在果蔬加工中的应用	213
5.4.3	食品酶工程在食品保鲜上的应用	214
5.4.4	食品酶工程在乳制品加工中的应用	215
5.4.5	食品酶工程在蛋白类食品加工中的应用	216
5.4.6	食品酶工程在淀粉类食品加工中的应用	216
<b>第6章</b>	<b>发酵工程</b>	<b>222</b>
6.1	发酵工程概述	223
6.1.1	发酵与发酵工程及其与现代生物技术的关系	223
6.1.2	现代发酵工程的研究内容及应用范围	223
6.1.3	发酵工程的历史和发展趋势	224
6.2	发酵培养基的制备及灭菌	226
6.2.1	发酵培养基的制备	226
6.2.2	发酵培养基的灭菌	228
6.3	发酵菌种及其扩大培养	230
6.3.1	发酵工业对菌种的要求	230
6.3.2	发酵菌种的选育、保藏和复壮	230
6.3.3	发酵菌种的扩大培养	231
6.4	发酵动力学	233
6.4.1	发酵动力学概述	233
6.4.2	分批式发酵动力学	233
6.4.3	连续式发酵动力学	235
6.4.4	分批补料式发酵动力学	238
6.5	发酵设备	238
6.5.1	厌氧固体发酵设备	239
6.5.2	厌氧液体发酵设备	239
6.5.3	好氧固体发酵设备	241
6.5.4	好氧液体发酵设备	242
6.6	发酵过程的控制	248
6.6.1	温度对发酵过程的影响及控制	248
6.6.2	pH对发酵过程的影响及控制	250
6.6.3	溶解氧对发酵过程的影响及控制	252
6.6.4	基质浓度对发酵的影响及补料的控制	254
6.6.5	泡沫对发酵过程的影响及控制	255
6.6.6	设备及管道清洗与消毒的控制	256
6.6.7	杂菌与噬菌体污染的控制	256
6.6.8	发酵终点的判断	257
6.6.9	其他因子的在线控制	258
6.6.10	发酵过程的计算机控制	258
6.7	重组细胞培养与发酵过程中的技术关键问题、对策及应用实例	259
6.7.1	重组质粒的不稳定性及其对策	259



6.7.2	高密度培养与发酵过程中代谢副产物对重组细胞生长和表达的影响及其对策 .....	261
6.7.3	重组细胞高密度培养与发酵过程中供氧的限制及其对策 .....	262
<b>第7章</b>	<b>转基因生物反应器</b> .....	<b>266</b>
7.1	概述 .....	267
7.2	转基因动物生物反应器 .....	267
7.2.1	转基因动物的操作原理与方法 .....	267
7.2.2	转基因动物生物反应器的应用 .....	269
7.2.3	转基因动物生物反应器存在的问题及展望 .....	272
7.3	转基因植物生物反应器 .....	273
7.3.1	根癌农杆菌 Ti 质粒介导基因转化 .....	274
7.3.2	转基因植物生物反应器的应用 .....	280
7.4	转基因微生物生物反应器 .....	285
7.4.1	外源基因在原核微生物中的表达 .....	285
7.4.2	外源基因在真核微生物中的表达 .....	290
7.4.3	转基因微生物生物反应器的应用 .....	291
<b>第8章</b>	<b>生物工程下游技术</b> .....	<b>296</b>
8.1	概述 .....	297
8.1.1	生物工程下游技术的重要性 .....	297
8.1.2	生物工程下游技术的特点 .....	297
8.1.3	下游工程的目的产物 .....	298
8.1.4	下游工程的基本路线 .....	298
8.1.5	下游工程的质量控制 .....	299
8.2	原料与前期处理 .....	300
8.2.1	原料(raw material) .....	300
8.2.2	发酵液处理(pretreatment of zymotic fluid) .....	301
8.2.3	固液分离(solid-liquid separation) .....	302
8.2.4	细胞破碎(cell disruption) .....	302
8.2.5	包涵体的处理(treatment of inclusion body) .....	303
8.3	分离的单元操作 .....	304
8.3.1	离心分离(centrifugal separation) .....	304
8.3.2	过滤分离(filtration separation) .....	305
8.3.3	萃取(extraction) .....	306
8.3.4	吸附(adsorption) .....	309
8.3.5	沉淀(precipitation) .....	310
8.3.6	膜分离(membrane separation) .....	312
8.4	纯化的单元操作 .....	314
8.4.1	层析(chromatography) .....	314
8.4.2	电泳(electrophoresis) .....	317