



卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校教材 • 供药学类专业用

# 生物制药工艺学

主 编 何建勇

副主编 顾觉奋 王凤山



人民卫生出版社

PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

卫生部“十一五”规划教材  
全国高等医药教材建设研究会规划教材  
全国高等学校教材  
供药学类专业用

# 生物制药工艺学

主 编 何建勇

副主编 顾觉奋 王凤山

编 者 (以姓氏笔画为序)

王凤山 (山东大学药学院)

李继扬 (复旦大学药学院)

何建勇 (沈阳药科大学)

余 蓉 (四川大学华西药学院)

赵凤生 (上海交通大学药学院)

项 勇 (沈阳药科大学)

顾觉奋 (中国药科大学)

钱秀萍 (上海交通大学药学院)

人 民 卫 生 出 版 社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

生物制药工艺学/何建勇主编. —北京: 人民卫生出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-117-08923-4

I. 生… II. 何… III. 生物制品: 药物—生产工艺—高等学校—教材 IV. TQ464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 100838 号

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

## 生物制药工艺学

主 编: 何建勇

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京新丰印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 35.25

字 数: 807 千字

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-08923-4/R · 8924

定 价: 49.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

# 卫生部“十一五”规划教材

## 全国高等学校药学类专业第六轮规划教材

### 出版说明

全国高等学校药学类专业本科卫生部规划教材是我国最权威的药学类专业教材,于1979年出版第一版,1987年、1993年、1998年、2003年进行了四次修订,并于2003年出版了第五轮规划教材。该套教材曾为全国高等学校药学类专业唯一一套统编教材,后更名为规划教材,其具有较高的权威性和一流的水平,为我国高等教育培养大批的药学专业人才发挥了重要作用。近年来我国药学教育事业快速发展,开办药学及相关专业的院校数量已由上世纪90年代的几十所发展到现在三百多所,办学规模和水平在不断提高;同时很多学校根据自身特点,尝试新的教学方法,药学教育逐渐向多元化发展。为适应新时期我国高等药学教育改革和发展,做好药学类专业本科教材的组织规划和质量把关工作,全国高等学校药学专业教材第三届评审委员会围绕药学专业第五轮教材使用情况、药学教育现状、新时期药学领域人才结构等多个主题,进行了广泛、深入地调研活动,并对调研结果进行了反复、细致的分析论证。根据药学专业教材评审委员会的意见和调研、论证的结果,全国高等医药教材建设研究会、卫生部教材办公室决定组织全国专家于2006年夏季开始对第五轮教材进行修订。

药学类专业第六轮规划教材的编写修订,坚持紧扣药学类专业本科教育培养目标,以教育部新的药学教育纲要为基础,以国家食品药品监督管理局执业药师资格准入为指导,按卫生部等相关部委行业用人要求,强调培养目标与用人要求相结合,进一步提高教材水平和质量。同时,针对学生实验、自修、复习考试等需要,紧扣主干教材内容编写、修订了相应的学习指导与习题集、实验指导等配套教材25种。

全国高等学校药学类专业第六轮规划教材编写工作严格按照卫生部教材办公室“931”质量控制体系进行。经过全国各院校的推荐,全国高等学校药学专业第三届教材评审委员会遴选,卫生部教材办公室最终确定了主干教材与配套教材主编、副主编和编者。在卫生部教材办公室的组织和严格管理,以及在全国高等学校药学专业第三届教材评审委员会的指导下,各门教材主编、编者同心协力,积极参加主编人会议、编写会议和定稿会议,始终贯彻会议精神,克服各种困难,以对我国高等药学教育事业高度负责的态度认真编写教材,保证教材的质量和水平,并达到人民卫生出版社“齐、清、定”的交稿要求。经过1年多的努力,全国高等学校药学类专业第六轮规划教材即将出版,并向全国公开发行。

该套教材供全国高等学校药学及相关专业教学使用。全套教材中主干教材共29

种,其中修订 25 种,新组织编写 4 种;其中 22 种为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(用星号表示);配套教材 25 种,其中 2 种为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2007 年初,在卫生部的领导下,由卫生部教材办公室组织,全国高等医药教材建设研究会进行了卫生部“十一五”规划教材评审工作,本套教材及其配套教材全部入选卫生部“十一五”规划教材。

### 全套教材书目如下:

- |                          |     |                 |
|--------------------------|-----|-----------------|
| ★1. 药学导论(第 2 版)          | 毕开顺 | 沈阳药科大学          |
| 2. 高等数学(第 4 版)           | 顾作林 | 河北医科大学          |
| 高等数学学习指导与习题集             | 顾作林 | 河北医科大学          |
| 3. 医药数理统计方法(第 4 版)       | 高祖新 | 中国药科大学          |
| 医药数理统计方法学习指导与习题集         | 高祖新 | 中国药科大学          |
| ★4. 物理学(第 5 版)           | 王 铭 | 北京大学医学部         |
| 物理学学习指导与习题集              | 王 铭 | 北京大学医学部         |
| ★5. 物理化学(第 6 版)          | 侯新朴 | 北京大学药学院         |
| 物理化学学习指导与习题集(第 2 版)      | 李三鸣 | 沈阳药科大学          |
| 物理化学实验指导(双语)             | 崔黎丽 | 第二军医大学          |
| ★6. 无机化学(第 5 版)          | 张天蓝 | 北京大学药学院         |
| 无机化学学习指导与习题集(第 2 版)      | 姜凤超 | 华中科技大学同济药学院     |
| ★7. 分析化学(第 6 版)          | 李发美 | 沈阳药科大学          |
| ★    分析化学学习指导与习题集(第 2 版) | 李发美 | 沈阳药科大学          |
| ★    分析化学实验指导(第 2 版)     | 李发美 | 沈阳药科大学          |
| ★8. 有机化学(第 6 版)          | 倪沛洲 | 中国药科大学          |
| 有机化学学习指导与习题集(第 2 版)      | 陆 涛 | 中国药科大学          |
| 9. 人体解剖生理学(第 5 版)        | 岳利民 | 四川大学华西基础医学与法医学院 |
|                          | 崔慧先 | 河北医科大学          |
| ★10. 微生物学与免疫学(第 6 版)     | 沈关心 | 华中科技大学同济医学院     |
| 微生物学与免疫学习题集              | 谭 政 | 华中科技大学同济医学院     |
| ★11. 生物化学(第 6 版)         | 吴梧桐 | 中国药科大学          |
| 生物化学学习指导与习题集             | 欧 瑜 | 中国药科大学          |
| 生物化学实验指导                 | 刘 煜 | 中国药科大学          |
| ★12. 药理学(第 6 版)          | 李 端 | 复旦大学药学院         |
| 药理学学习指导                  | 程能能 | 复旦大学药学院         |
| 药理学实验指导                  | 章蕴毅 | 复旦大学药学院         |

- |                                                       |     |             |
|-------------------------------------------------------|-----|-------------|
| ★13. 药物分析(第6版)                                        | 刘文英 | 中国药科大学      |
| ★14. 药用植物学(第5版)<br>药用植物学实验指导                          | 郑汉臣 | 第二军医大学      |
| ★15. 生药学(第5版)<br>生药学实验指导                              | 潘胜利 | 复旦大学药学院     |
| ★16. 药物毒理学(第2版)                                       | 蔡少青 | 北京大学药学院     |
| ★17. 临床药物治疗学(第2版)                                     | 刘塔斯 | 湖南中医药大学     |
| ★18. 药物化学(第6版)<br>药物化学学习指导与习题集(第2版)                   | 楼宜嘉 | 浙江大学药学院     |
| ★19. 药剂学(第6版)<br>药剂学学习指导与习题集<br>药剂学实验指导(第2版)          | 姜远英 | 第二军医大学      |
| ★20. 天然药物化学(第5版)<br>天然药物化学实验指导(第2版)<br>天然药物化学习题集(第2版) | 郑虎  | 四川大学华西药学院   |
| 21. 中医药学概论(第6版)<br>中医药学概论学习指导与习题集                     | 徐正  | 四川大学华西药学院   |
| ★22. 药事管理学(第4版)<br><br>药事管理学学习指导与习题集                  | 崔福德 | 沈阳药科大学      |
| ★23. 药分子生物学(第3版)                                      | 崔福德 | 沈阳药科大学      |
| ★24. 生物药剂学与药物动力学(第3版)<br>生物药剂学与药物动力学学习指导与习题集          | 崔福德 | 沈阳药科大学      |
| ★25. 药英语(上、下册)(第3版)<br>药英语学习指导                        | 吴立军 | 沈阳药科大学      |
| ★26. 药物设计学                                            | 裴月湖 | 沈阳药科大学      |
| 27. 制药工程原理与设备                                         | 吴继洲 | 华中科技大学同济药学院 |
| 28. 生物制药工艺学                                           | 王建  | 成都中医药大学     |
| 29. 生物技术制药                                            | 王建  | 成都中医药大学     |
|                                                       | 吴蓬  | 四川大学华西药学院   |
|                                                       | 杨世民 | 西安交通大学医学院   |
|                                                       | 杨世民 | 西安交通大学医学院   |
|                                                       | 史济平 | 复旦大学药学院     |
|                                                       | 梁文权 | 浙江大学药学院     |
|                                                       | 梁文权 | 浙江大学药学院     |
|                                                       | 胡廷熹 | 中国药科大学      |
|                                                       | 胡廷熹 | 中国药科大学      |
|                                                       | 徐文方 | 山东大学药学院     |
|                                                       | 王志祥 | 中国药科大学      |
|                                                       | 何建勇 | 沈阳药科大学      |
|                                                       | 周珮  | 复旦大学药学院     |

全国高等医药教材建设研究会  
卫生部教材办公室  
2007年6月1日

# 全国高等学校药学专业教材 第三届评审委员会名单

- 主任委员 郑 虎 四川大学华西药学院
- 副主任委员 毕开顺 沈阳药科大学  
姚文兵 中国药科大学
- 委 员 (以姓氏笔画为序)
- 刘俊义 北京大学药学院
- 吴梧桐 中国药科大学
- 吴继洲 华中科技大学同济药学院
- 吴满平 复旦大学药学院
- 张志荣 四川大学华西药学院
- 张淑芳 中国执业药师协会, 国家食品药品监督管理局执业药师资格认证中心
- 杨世民 西安交通大学医学院
- 姜远英 第二军医大学
- 徐文方 山东大学药学院
- 郭 姣 广东药学院
- 曾 苏 浙江大学药学院
- 潘卫三 沈阳药科大学
- 秘 书 徐 正 四川大学华西药学院

# 前 言

生物制药为既有着悠久历史，又包含现代科学技术的应用科学领域。生物药物包含着非常丰富的内容。从总体上看，一切由生物材料为原料或用生物学方法制造的药物都属于生物药物。因此，广义上的生物药物应包括由微生物产生的微生物药物，由动植物组织提取和加工得到的生化药物，由微生物免疫技术生产的疫苗与抗体，由基因工程菌产生的基因工程药物，由微生物细胞或生物酶进行生物转化而得到的生物转化药物，以及由动植物组织细胞培养后制得的药物等。传统的中药、草药从本质上属于生物药物，但由于其发展历史悠久，已成为独立的中药制药体系，一般不将其纳入生物药物的范围。

生物制药技术伴随着人类与疾病进行斗争的历史，经历了数百年的发展过程。从接种“牛痘”预防“天花”到用青霉素治疗感染性疾病；从免疫抑制剂——环孢素 A 在器官移植上的应用到基因工程药物——人生长激素、干扰素的应用，生物制药领域每一新技术的出现都极大地造福于人类，为防治人类疾病、改善人们的生活质量、延长人类的寿命做出了巨大的贡献。

在 21 世纪开始的 2001 年，人类基因组测序的完成，标志着人类对自身的认识达到了新的水平，对疾病本质的认识达到了新的高度。上千个与疾病相关的基因已经被定位，近百个疾病基因已被克隆，这将为新药研究、设计提供新依据。因此，生物制药将是 21 世纪最活跃和最具有魅力的领域之一。

本教材是在全国高等医药教材建设研究会、卫生部教材办公室的组织下，为培养 21 世纪药学类人才而设计和编写的。参加本教材编写的有沈阳药科大学、中国药科大学、山东大学药学院、上海交通大学药学院、复旦大学药学院、四川大学华西药学院相关专业的教师，他们都在生物制药的教学、科研领域工作多年，具有丰富的教学、科研经验。

本书以微生物制药为主要内容，也包括生物提取、基因工程制药和由微生物或生物酶催化的生物转化药物等。本教材设有三篇，共二十七章。第一篇介绍生物药物的生物合成过程与代谢调控、菌种选育、菌种培养与保藏、培养基及发酵过程控制等方面的理论与技术；第二篇介绍生物药物分离纯化方面的理论与技术，包括传统的溶媒萃取法、离子交换法、吸附法、沉淀法、色谱分离法等。也包括较新的分离纯化技术如膜分离、超临界萃取和双水相萃取等；第三篇介绍一些具体的生物药物及其生产工艺，包括抗生素、氨基酸、核酸与核苷、多肽与蛋白质药物、生物转化药物等。

本书突出了基本理论与实际生产相结合的理念，有许多工艺路线和控制要点来自生产第一线，得到了制药企业的大力支持。

本书第一、二、三、八章由何建勇教授编写；第九、十、十一、十二、十三、十五、十九章由顾觉奋教授编写，其中第九、十二章由郑珩副教授参编；第二十一、



二十三、二十四、二十六章由王凤山教授编写；第五、二十章由赵凤生教授编写；第四章由钱秀萍副教授编写；第十六、十八章由余蓉教授编写；第十四、十七章由项勇副教授编写；第六、七、二十二、二十五、二十七章由李继扬讲师编写；最后由何建勇教授统稿，并对部分内容进行了修改。

本教材为药学类专业本科的专业课教材，使用对象为药学、生物工程、生物技术或制药工程等专业的的高年级学生，也可作为制药企业或生物药物研究单位技术人员培训的参考教材。

由于时间仓促和编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳请生物制药领域的同行和广大读者批评指正。

编 者

2007年5月

# 目 录

## 第一篇 生物药物发酵工艺

第一章 绪论	1
一、生物制药的起源与发展	1
二、生物制药工艺的改进与创新	3
三、生物制药产品的类别	5
四、生物制药的工艺流程	8
第二章 微生物代谢产物的生物合成与调控	10
第一节 微生物的代谢产物	10
一、初级代谢产物及其特点	10
二、次级代谢产物及其特点	10
三、初级代谢产物与次级代谢产物的关系	12
第二节 次级代谢产物的构建单位与合成途径	14
一、氨基酸及其衍生物	14
二、糖及氨基糖	14
三、聚酮体及其衍生物	14
四、甲羟戊酸及其衍生物	16
五、环多醇和氨基环多醇	18
六、碱基及其衍生物	18
第三节 次级代谢产物的生物合成过程	18
一、构建单位的合成	18
二、构建单位的连接	18
三、产物合成后的修饰	19
第四节 次级代谢产物生物合成的调控	21
一、酶合成的诱导调节	21
二、反馈调节	21
三、磷酸盐调节及其机制	22
四、碳分解产物的调节	26
五、氮分解产物调节及其机制	28
六、菌体生长速率的调节	30
七、化学调节因子的调节	31
复习思考题	33

第三章 菌种选育的理论和技术 .....	34
第一节 概述 .....	34
一、菌种选育的目的 .....	34
二、菌种选育的基本理论 .....	36
第二节 自然选育 .....	41
一、自然选育的一般过程 .....	41
二、自然选育的操作方法 .....	42
第三节 诱变育种 .....	43
一、诱变剂 .....	43
二、诱变的主要环节 .....	48
三、突变菌株高产基因的表达 .....	60
第四节 杂交育种 .....	60
一、杂交的意义 .....	60
二、细菌的杂交育种 .....	61
三、放线菌的杂交育种 .....	62
四、霉菌的杂交育种 .....	63
第五节 原生质体融合育种 .....	65
一、原生质体的制备及影响因素 .....	66
二、原生质体诱变育种 .....	67
三、原生质体再生 .....	67
四、原生质体的融合 .....	68
复习思考题 .....	70
第四章 培养基 .....	71
第一节 培养基的成分 .....	71
一、碳源 .....	71
二、氮源 .....	73
三、磷源和硫源 .....	75
四、无机离子 .....	75
五、生长因子 .....	77
六、前体 .....	77
七、诱导物 .....	78
八、促进剂和抑制剂 .....	78
九、水分 .....	79
第二节 培养基的种类 .....	79
一、合成培养基和复合培养基 .....	79
二、固体培养基和液体培养基 .....	80
三、孢子培养基、种子培养基、发酵培养基和补料培养基 .....	80
第三节 培养基的设计和筛选 .....	81

一、培养基的设计 .....	81
二、培养基的筛选 .....	82
第四节 影响培养基质量的因素 .....	83
一、原材料质量 .....	83
二、水质 .....	84
三、灭菌 .....	85
四、培养基黏度 .....	85
复习思考题 .....	85
<b>第五章 灭菌与除菌 .....</b>	<b>86</b>
第一节 主要的灭菌和除菌方法 .....	86
一、高温灭菌 .....	86
二、过滤除菌 .....	87
三、化学物质消毒和灭菌 .....	87
四、其他灭菌方法 .....	87
第二节 培养基和发酵设备的灭菌 .....	89
一、湿热灭菌的原理 .....	89
二、温度和时间对培养基灭菌的影响 .....	91
三、影响培养基灭菌的其他因素 .....	93
四、培养基的灭菌方法 .....	94
五、发酵设备的灭菌方法 .....	97
第三节 空气除菌 .....	97
一、介质过滤除菌的原理 .....	98
二、空气过滤器 .....	101
三、空气过滤除菌流程 .....	103
第四节 无菌检查与染菌的处理 .....	104
一、无菌检查 .....	104
二、染菌原因的分析 .....	105
三、制服染菌的要点 .....	106
四、污染杂菌的处理 .....	107
五、污染噬菌体的处理 .....	108
复习思考题 .....	109
<b>第六章 菌种保藏 .....</b>	<b>110</b>
第一节 菌种保藏的目的和原理 .....	110
一、菌种保藏的目的 .....	110
二、菌种保藏的原理 .....	110
第二节 菌种保藏的方法及要点 .....	110
一、菌种保藏的方法 .....	110
二、菌种保藏的注意事项 .....	115

第三节 国内外菌种保藏机构	116
复习思考题	118
<b>第七章 生产种子的制备</b>	<b>119</b>
第一节 孢子的制备	120
一、孢子制备	120
二、孢子制备过程中的要点	121
第二节 种子的制备	122
一、摇瓶种子制备	122
二、种子罐种子制备	122
第三节 种子质量控制及分析	123
一、影响孢子质量的因素及控制	123
二、影响种子质量的因素	125
第四节 种子制备实例	128
复习思考题	129
<b>第八章 发酵过程与控制</b>	<b>130</b>
第一节 概述	130
一、发酵过程的复杂性	130
二、发酵过程控制的必要性	131
三、发酵过程控制的模式	131
第二节 微生物的发酵类型	132
一、按投料方式分类	132
二、按与氧的关系分类	133
三、按发酵动力学参数的关系分类	134
第三节 发酵过程的工艺参数控制	134
一、物理参数	135
二、化学参数	136
三、生物参数	139
第四节 发酵过程中的代谢变化	140
一、初级代谢产物发酵	140
二、次级代谢产物发酵	141
三、代谢曲线	143
第五节 菌体浓度的影响及其控制	144
一、影响菌体浓度的因素	144
二、菌体浓度对发酵产量的影响	144
三、最适菌体浓度的确定与控制	145
第六节 营养基质的影响及其控制	147
一、碳源的影响与控制	147

二、氮源的影响与控制	149
三、磷酸盐的影响与控制	149
第七节 温度的影响及其控制	150
一、温度对发酵的影响	150
二、影响发酵温度变化的因素	151
三、发酵温度的控制	152
第八节 pH 的影响及其控制	153
一、pH 对发酵的影响	153
二、发酵 pH 的变化	154
三、发酵 pH 的确定与控制	155
第九节 溶解氧的控制	157
一、发酵过程中氧的需求	158
二、氧在溶液中的传递	162
三、影响供氧的因素	163
四、溶解氧、摄氧率和液相体积氧传递系数 $K_L a$ 的测定	167
五、溶解氧对发酵的影响	171
第十节 发酵过程的补料控制	175
一、补料的作用	175
二、补料的方式和控制	176
第十一节 泡沫的影响及其控制	177
一、泡沫的性质与类型	177
二、泡沫对发酵的影响	177
三、影响泡沫形成的因素	178
四、泡沫的控制	179
五、常用的消沫剂	179
六、消沫剂的增效措施	180
第十二节 发酵终点的控制	181
一、有利于提高经济效益	181
二、有利于提高产品的质量	181
复习思考题	182

## 第二篇 生物药物分离纯化工艺

第九章 分离纯化概论	183
第一节 分离纯化技术在生物制药中的地位	183
第二节 生物技术下游加工过程的特点	184
第三节 传统生物产品的分离纯化方法	185
一、一般工艺流程和单元操作	185
二、发酵液的预处理和固液分离	185
三、细胞破碎和碎片分离	186

四、溶剂萃取法	186
五、超临界流体萃取法	186
六、离子交换分离法	186
七、吸附分离法	187
八、沉淀分离法	187
九、膜分离法	187
十、成品加工	187
第四节 现代生物药物的高度分离纯化	188
一、初步分离方法	189
二、高度纯化方法	190
三、成品加工	192
第五节 分离纯化方法的选择依据	193
一、传统生物药物分离纯化方法的选择依据	193
二、基因工程药物分离纯化方法的选择依据	196
第六节 分离纯化技术的发展趋向	197
复习思考题	198
<b>第十章 生物材料的预处理、液固分离及细胞破碎</b>	<b>199</b>
第一节 生物材料的预处理	199
一、凝聚和絮凝技术	200
二、去除杂蛋白质的其他方法	203
三、酶解法去除不溶性多糖	204
四、高价金属离子的去除	204
第二节 发酵液的液-固分离	204
一、过滤	205
二、离心分离	206
三、影响液固分离的因素	207
四、选择液固分离方法的准则	208
五、液固分离技术的发展动向	208
第三节 细胞的破碎	208
一、微生物的细胞壁	209
二、细胞的破碎技术	210
三、破碎率的评价	216
复习思考题	217
<b>第十一章 溶剂萃取法</b>	<b>219</b>
第一节 溶剂萃取法的基本概念	219
一、萃取体系	219
二、分配定律	220

三、萃取因素	221
四、萃取率	221
五、分离因素	221
第二节 溶剂萃取法的基本原理	222
一、萃取原理	222
二、弱电解质在有机相与水相间的分配平衡	222
三、萃取方法和理论收率的计算	224
第三节 乳化和破乳化	227
一、乳状液的形成和稳定条件	227
二、影响乳状液类型的因素	229
三、乳状液的破坏	230
四、常用的去乳化剂	232
第四节 影响溶剂萃取的因素	233
一、pH 的影响	233
二、温度和萃取时间的影响	234
三、盐析作用的影响	235
四、溶剂种类、用量及萃取方式的选择	235
第五节 溶剂回收	236
一、单组分溶剂的回收	237
二、低浓度溶剂的回收	237
三、回收与水部分互溶并形成恒沸混合物的溶剂	237
四、回收完全互溶的混合溶剂并不形成恒沸混合物	238
第六节 萃取设备	238
一、混合设备	238
二、分离设备	239
三、离心萃取机	241
复习思考题	242
<b>第十二章 超临界流体萃取法</b>	<b>244</b>
第一节 概述	244
一、基本原理	244
二、超临界流体萃取	247
三、超临界流体萃取技术的特点	248
第二节 影响超临界 CO <sub>2</sub> 流体溶解能力的因素	248
一、压力的影响	248
二、温度的影响	249
三、夹带剂的影响	249
四、不同溶质在 SC-CO <sub>2</sub> 流体中的溶解度	250
第三节 超临界萃取的典型流程	250



第四节 超临界流体技术的应用和发展	251
一、超临界流体萃取技术在医药工业上的应用	252
二、超临界流体萃取在生物工程中的应用	253
复习思考题	253
<b>第十三章 双水相萃取</b>	255
第一节 双水相萃取法概述	255
一、水溶性高聚物相系统	255
二、双水相萃取的基本概念	257
三、相图	258
第二节 双水相萃取理论	260
一、布朗运动和界面张力引起的粒子分配	260
二、分配系数与活度的关系	260
三、相系统的道南电位	260
第三节 影响双水相萃取的因素	261
一、成相高聚物浓度—界面张力	262
二、成相高聚物的分子量	262
三、电化学分配——盐类的影响	263
四、生物亲和分配	264
五、疏水效应	265
六、温度及其他因素	266
第四节 双水相萃取的应用	266
一、双水相分配进行粒子浓缩	267
二、双水相体系萃取胞内酶	268
三、双水相酶法	269
四、双水相萃取干扰素的工业规模实例	269
第五节 双水相萃取技术的发展	270
一、廉价双水相体系的开发	270
二、双水相亲和分配	270
三、液体离子交换剂	271
复习思考题	271
<b>第十四章 离子交换分离法</b>	272
第一节 离子交换树脂的基本概念	272
第二节 离子交换树脂的分类及理化性能	274
一、分类	274
二、命名	278
三、理化性能	279
第三节 离子交换过程的理论基础	284