

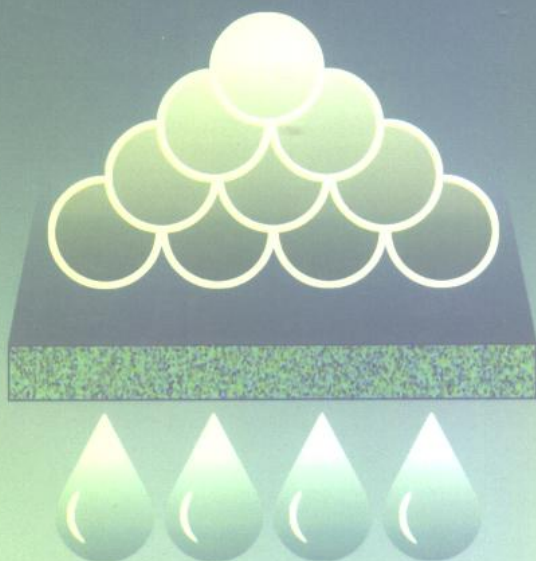


普通高等教育“九五”国家级重点教材

生物工业下游技术

Downstream Processing
of Bio-industry

毛忠贵 主编



中国轻工业出版社

Q1.25
149

普通高等教育“九五”国家级重点教材

生物工业下游技术

毛忠贵 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物工业下游技术/毛忠贵主编. —北京: 中国轻工业出版社, 1999. 10

普通高等教育“九五”国家级重点教材

ISBN 7-5019-2581-X

I. 生… II. 毛… III. 生物技术-高等学校-教材
IV. Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 32079 号

责任编辑: 唐是雯 李 菁 责任终审: 滕炎福

封面设计: 赵小云 版式设计: 智苏亚

责任校对: 燕 杰 责任监印: 徐肇华

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 13.875

字 数: 360 千字 插页: 1 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2581-X/Q·007 定价: 26.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

编写说明

根据“九五”教学课程体系改革的精神，工科本科专业教学应将现有以产品生产制造为主线的课程体系，更新为以科学技术为主导的课程体系，以帮助学生从科学和技术的本质上理解和认识产品生产制造过程的共性和普遍规律，强化基础，举一反三，从而拓宽本科学生的知识面。同时，也由于本专业名称“发酵工程”已更改成“生物工程”，发酵工业正处于深入、拓宽、发展、上升为生物工业的过程之中，因而需要设置“生物工业下游技术”课程。

本课程根据上述要求，从生物工业下游技术的角度，归纳、阐述现有发酵工业和新兴的正在发展中的生物技术产品的提取、分离、纯化、精制加工等技术的科学本质、原理、方法、规律及发展趋势，以及这些技术和环境保护之间的关系等。通过本课程的学习，使学生掌握生物工业（含发酵工业）产品下游制造技术的科学本质，理解、掌握传统技术基础，接受新概念、新知识、新技术，为今后的科学研究、技术开发和工程应用作好理论准备。

生物工业（含发酵工业）下游技术是决定生物工业的产品能否产业化的关键之一。因此，本课程将越来越显示出它的重要性。

本课程的先修课程为物理化学、化工原理、生物（发酵）工艺原理等。本课程为本专业的必修课，建议学时数 45~54 学时，自学 30 学时。讲课时间在四年级的上半学年，条件成熟后安排

6~8 学时的实验。

本教材共分十六章，由毛忠贵任主编。编写分工：第一、二、五、六、八、十、十四、十六章由毛忠贵编写（无锡轻工大学），第三、四、十二章由肖冬光（天津轻工业学院）编写，第九、十一章由刘凤珠（郑州轻工业学院）编写，第七章由朱利丹（无锡轻工大学）编写，第十三章由张建华（无锡轻工大学）编写，第十五章由陈建新（无锡轻工大学）编写。全书由无锡轻工大学吴佩琮教授任主审，顾国贤教授任副主审。

本书中凡成分的含量（浓度等）以%表示的，一般均指质量分数。酒精含量指体积分数。

限于编者水平，缺点和错误之处敬请批评指正。

编 者



目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 生物工业下游技术的工作领域	(1)
一、技术范畴	(1)
二、生物工业下游技术的发展历程	(2)
第二节 生物工业下游技术的一般工艺过程	(6)
一、原料及产品特性	(6)
二、下游技术的一般工艺过程	(8)
第三节 生物工业下游技术的发展动态	(10)
一、传统分离技术的提高和完善	(13)
二、新技术的研究和开发	(13)
三、清洁生产	(15)
参考文献	(16)
第二章 下游技术的理论基础	(17)
第一节 下游技术中的物理学过程	(17)
一、基础物性	(17)
二、分类	(17)
三、平衡论	(19)
四、传递现象	(22)
第二节 下游技术中的化学过程	(27)
一、化学性分子识别	(27)
二、下游技术中的化学反应	(29)
第三节 下游技术中的生物学过程	(30)

一、特异性相互作用（锁钥关系）	(30)
二、亲和色谱（Affinity Chromatography）	(33)
思考题	(37)
参考文献	(37)
第三章 发酵液预处理	(39)
第一节 发酵液过滤特性的改变	(39)
一、降低液体粘度	(40)
二、调整 pH	(40)
三、凝聚与絮凝	(41)
四、加入助滤剂	(44)
五、加入反应剂	(45)
第二节 发酵液的相对纯化	(46)
一、高价无机离子的除去	(46)
二、杂蛋白质的除去	(47)
第三节 固液分离工程及设备	(48)
一、离心分离	(48)
二、过滤	(53)
三、其他固液分离方法	(56)
思考题	(59)
参考文献	(59)
第四章 微生物细胞破碎	(61)
第一节 细胞壁的组成与结构	(61)
一、细菌细胞壁	(62)
二、酵母菌细胞壁	(63)
三、霉菌细胞壁	(63)
四、细胞壁结构与细胞破碎	(64)
第二节 常用破碎方法	(64)
一、珠磨法	(65)

二、高压匀浆法	(68)
三、超声破碎法	(70)
四、酶溶法	(71)
五、化学渗透法	(72)
六、其他方法	(74)
第三节 破碎率的测定与破碎技术的研究方向	(76)
一、破碎率的测定	(76)
二、破碎技术的研究方向	(77)
思考题	(78)
参考文献	(79)
第五章 溶剂萃取和浸取	(80)
第一节 溶剂萃取	(81)
一、溶剂萃取过程的理论基础	(81)
二、工业萃取方式和理论收得率	(92)
三、乳化和去乳化	(94)
四、萃取设备简介	(96)
第二节 浸取	(98)
一、浸取过程的应用	(98)
二、浸取速率	(99)
三、浸出的其他问题	(104)
思考题	(106)
参考文献	(106)
第六章 超临界流体萃取	(107)
第一节 序言	(107)
第二节 超临界流体的萃取原理	(108)
第三节 超临界 CO ₂ 的溶剂特征	(111)
一、超临界 CO ₂ 的相图	(111)
二、萃取溶剂 CO ₂ 的性质	(113)

第四节 SC-CO ₂ 萃取以及拖带剂的作用	(115)
一、SC-CO ₂ 萃取	(115)
二、拖带剂的作用	(116)
第五节 超临界流体萃取的热力学基础简介	(117)
一、固体溶质在超临界流体中的溶解度	(117)
二、液体溶质在超临界流体中的溶解度	(118)
第六节 SC-CO ₂ 萃取流程及在生物、食品工业中的 应用	(119)
一、SC-CO ₂ 萃取流程	(119)
二、SC-CO ₂ 萃取技术在生物、食品等工业中的 应用	(121)
思考题	(125)
参考文献	(125)
第七章 双水相萃取技术	(127)
第一节 双水相分离理论	(128)
一、双水相的形成	(128)
二、相图	(130)
三、物质在两相中的分配	(131)
第二节 双水相萃取技术的应用	(140)
一、概说	(140)
二、双水相提取胞内酶的具体操作	(142)
第三节 双水相萃取技术的发展	(148)
思考题	(149)
参考文献	(150)
第八章 反胶团萃取	(152)
第一节 概述	(152)
第二节 反胶团的形成	(153)
一、反胶团的构造	(153)

二、反胶团的物理化学特性及制备·····	(155)
第三节 生理活性物质的分离浓缩·····	(157)
一、反胶团萃取原理·····	(157)
二、蛋白质的溶解·····	(158)
三、反胶团萃取·····	(159)
第四节 在分离工艺中的应用·····	(165)
第五节 在液膜分离法中的应用·····	(166)
思考题·····	(167)
参考文献·····	(167)
第九章 膜分离过程·····	(168)
第一节 膜和膜分离过程的分类与特性·····	(169)
一、膜的分类·····	(169)
二、膜的制造·····	(172)
第二节 膜的基本理论·····	(176)
一、膜分离过程的机理·····	(176)
二、膜的性能、参数·····	(181)
三、膜的使用寿命·····	(185)
第三节 膜的应用·····	(188)
一、膜组件的结构和特点·····	(188)
二、反渗透 (RO 或 HF) ·····	(190)
三、超滤 (UF) ·····	(192)
四、微孔过滤 (MF) ·····	(194)
五、纳米过滤 (NF) ·····	(195)
思考题·····	(196)
参考文献·····	(196)
第十章 液膜分离·····	(197)
第一节 概论·····	(197)
一、液膜的分类·····	(197)

二、液膜的膜相组成·····	(199)
三、与生物膜的相似性·····	(200)
第二节 乳化液膜的制备与分离机制·····	(201)
一、乳化液膜的制备·····	(201)
二、乳化液膜的分离机制·····	(201)
第三节 载体·····	(205)
第四节 乳化液膜分离技术的工艺流程及其应用·····	(208)
一、一般工艺流程·····	(208)
二、工业上的应用·····	(211)
三、在生物化学上的应用·····	(213)
四、在医学上的应用·····	(215)
第五节 关于液膜过程不利因素的讨论·····	(217)
一、膜破裂·····	(217)
二、膜膨胀·····	(217)
三、选择性载体的开发·····	(218)
思考题·····	(219)
参考文献·····	(219)
第十一章 离子交换法 ·····	(221)
第一节 离子交换原理及分类·····	(221)
一、离子交换原理·····	(221)
二、离子交换树脂分类·····	(223)
三、其他类型的树脂·····	(225)
四、树脂的命名·····	(226)
第二节 离子交换树脂的理化性能和测定·····	(228)
第三节 离子交换过程的理论基础·····	(234)
一、离子交换平衡·····	(234)
二、离子交换选择性·····	(236)
三、离子交换过程和速度·····	(238)
第四节 离子交换的应用·····	(240)

一、离子交换装置	(240)
二、离子交换树脂的工作过程	(241)
三、树脂和操作条件的选择	(243)
四、软水和无盐水的制备	(244)
五、离子交换技术在生物工程的应用	(247)
第五节 生化用离子交换剂的特点和种类	(248)
一、生化用离子交换剂的特点	(248)
二、生化用离子交换剂的种类	(250)
思考题	(250)
参考文献	(250)
第十二章 色谱分类	(252)
第一节 概述	(252)
第二节 色谱分离的分类	(254)
一、按分离机理不同分类	(254)
二、按固定相形状不同分类	(258)
三、其他分类方法	(259)
第三节 生物工业中的色谱分离	(260)
一、色谱分离的规模	(260)
二、色谱分离方法的选择	(261)
三、分析色谱与制备色谱及工业色谱的比较	(262)
第四节 色谱分离的基本原理	(263)
一、分配色谱	(264)
二、吸附色谱	(267)
三、凝胶色谱分离	(271)
第五节 柱色谱分离法	(274)
一、层析剂	(274)
二、装置	(282)
三、操作技术	(285)
四、洗脱色谱动力学	(290)

五、径向色谱·····	(295)
第六节 亲和色谱·····	(298)
一、基本原理·····	(299)
二、亲和层析剂·····	(302)
三、亲和色谱操作中的洗脱方法·····	(309)
思考题·····	(314)
参考文献·····	(316)
第十三章 酒精差压蒸馏技术·····	(318)
第一节 蒸馏的基本原理·····	(319)
一、挥发系数 K ·····	(319)
二、杂质的精馏系数 K' ·····	(320)
三、杂质的分类·····	(320)
第二节 差压蒸馏的基础理论·····	(320)
一、热力学分析·····	(320)
二、多效蒸馏的原理·····	(323)
三、多效蒸馏的工艺流程·····	(324)
四、多效蒸馏节能效果和效数的关系·····	(325)
五、差压蒸馏的理论依据·····	(326)
第三节 差压蒸馏的工艺特征·····	(331)
一、加压精馏塔回流比的确定·····	(331)
二、减压条件下杂质的分布·····	(333)
三、低压降塔板的应用·····	(334)
四、差压蒸馏的动态控制·····	(335)
第四节 酒精差压蒸馏的发展动态·····	(336)
一、我国酒精工业蒸馏技术现状·····	(336)
二、国际上先进的差压蒸馏技术·····	(336)
三、国内差压蒸馏工艺流程·····	(339)
四、差压蒸馏的应用前景·····	(341)
思考题·····	(342)

参考文献	(342)
第十四章 结晶技术	(344)
第一节 基本概念	(345)
一、晶体性状	(345)
二、饱和曲线和过饱和曲线	(346)
三、结晶过程	(347)
第二节 结晶动力学	(349)
一、晶核的形成	(349)
二、二次成核现象	(353)
三、晶体的生长	(356)
四、杂质对晶体生长速率的影响	(357)
第三节 结晶操作和结晶设备	(357)
一、分批结晶	(358)
二、连续结晶	(359)
三、结晶设备	(361)
思考题	(369)
参考文献	(369)
第十五章 蒸发与干燥	(371)
第一节 前言	(371)
第二节 蒸发	(372)
一、蒸发的基本流程	(372)
二、蒸发的操作方法	(372)
三、蒸发器及蒸发系统	(374)
四、蒸发的应用及节能	(381)
第三节 干燥	(383)
一、概述	(383)
二、干燥器及干燥工艺	(392)
三、干燥的应用及节能	(402)

思考题	(404)
参考文献	(404)
第十六章 清洁生产导论	(405)
第一节 前言	(405)
一、人类与自然关系的哲学观变迁	(405)
二、工业文明的成果及其代价	(406)
三、对未来的思索	(407)
四、可持续发展观	(409)
第二节 清洁生产概念	(412)
一、清洁生产的概念	(412)
二、清洁生产的评价标准	(413)
第三节 实现清洁生产的有效途径	(414)
一、资源综合利用	(414)
二、改革工艺和装备	(417)
三、改进操作和加强管理	(419)
四、必要的末端治理	(420)
第四节 清洁生产案例	(421)
一、国外已工业化的清洁生产案例	(421)
二、发酵工业清洁生产举例	(425)
思考题	(429)
参考文献	(429)

第一章 绪 论

对于由生物界自然产生的或由微生物菌体发酵的、动植物细胞组织培养的、酶反应等各种生物工业生产过程获得的生物原料，经提取分离、加工并精制目的成分，最终使其成为产品的技术，通常称为下游技术（Downstream Processing），也称为下游工程或下游加工过程。

由于生物原料和制品的多样性，越来越多的产品明显带有生物物质的特征（如活性和热敏性），它们的生产工艺已不能简单套用化工单元操作技术。由于下游技术是生物技术产品产业化的必经之路，故而越来越受到人们的重视。很多工业生物技术产品，包括现代发酵工业产品，其质量的优劣、成本的高低、竞争力的大小，往往与下游技术直接相关。某些基因工程产品，其提取精制成本甚至占总成本的 70%~90%。下游技术还与许多新产品的开发以及环境保护密切相关。近 20 年来，下游技术得到了长足发展，出现了许多新概念和新技术，有些已经在工业上得到应用，有的虽然还在研究中，但已经显示出良好的应用前景。

第一节 生物工业下游技术的工作领域

一、技术范畴

下游技术尚无严格意义上的定义，因而其范畴也就难以界

定。作为工科专业的教材，本课程的内容将更多地涉及到工业应用。

从“下游技术”的含义上来说，除“物质分离”外，还涉及到“产品加工”，如某些生化物质接上某种基团后生成其他用途的衍生物；或通过化学反应生成新的物质，如木糖加氢生成木糖醇等。这些内容将涉及到专门的技术领域，一般不包括在下游技术课程中。因而，目前人们理解的下游技术大多数属于“物质分离”范畴。

分离是混合的逆过程。由热力学第二定律可知，混合过程是一个熵增加的过程，它是一个自发的过程。而它的逆过程——分离过程，不能自发进行，需要作功才能实现，而且需要有专门的过程和设备。如将酒精加入水中，会自发形成均匀的酒精水溶液，而要将酒精与水分开，那就远非如此容易和简单了：要通过蒸馏设备，还要供给能量（蒸汽）；要将它们彻底分开，还需设法打破恒沸点才能办到。实际的工业生产中，目的产物往往与大量杂质混合在一起，这些杂质包括：生物反应过程中的副产物，未消耗完毕的原料，包括生产过程中加入的化学试剂等。另外，生产设备材料物质也由于种种原因，会有少许混入其中。下游技术的任务，就是从这些混合物中用最低的投入（物力、财力和人力），获得最高的产出（如产物的高得率、高纯度）。

随着生物技术产业的增多和规模的扩大，废水污染问题越来越突出，如酒精工业、味精工业、柠檬酸工业、酵母及抗生素工业等。作为“可持续发展战略”中的一个重要组成部分，“清洁生产”在协调经济发展和环境保护方面有着十分重要的地位。它与下游技术密切相关。

二、生物工业下游技术的发展历程

1. 古代酿造业

生物技术产业的历史可追溯到古代的酿造业，它包括酿酒、