

高等学校教材

生化工程与设备

第2版

方书起 陈俊英 主编



化学工业出版社

高等学校教材

生化工程与设备

第2版

方书起 陈俊英 主编



本书是高等学校教材《生化工程与设备》的第2版,适用学时为28~36学时。

考虑到化工类及相关专业学生对化工基础知识和化工单元操作的理论学习已经有了基础,因此本书不再对基础理论作过多的篇幅介绍,注重工程实际应用。

全书共有6章:固体原料的输送与粉碎、原料的蒸煮与糖化、工业培养基的配制与灭菌、空气处理工艺和设备、生化反应器和产物分离及提取设备。

本书主要作为化工相关专业本科、高职高专学生的教材和参考资料使用,也可供相关工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

生化工程与设备/方书起,陈俊英主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2017.1

高等学校教材

ISBN 978-7-122-28497-6

I. ①生… II. ①方…②陈… III. ①化学工业-生物工程-高等学校-教材②化学工业-生物工程-化工设备-高等学校-教材 IV. ①TQ033

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第270035号

责任编辑:傅四周 程树珍
责任校对:宋 玮

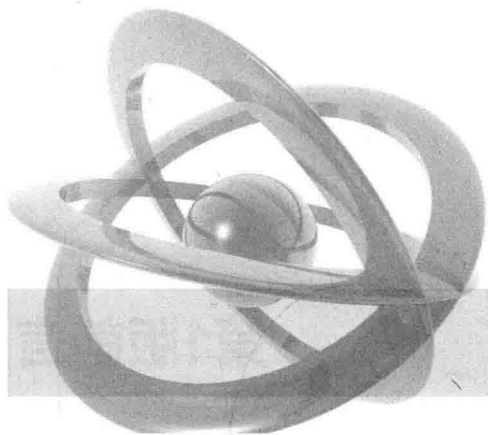
装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张13 字数330千字 2017年2月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00元

版权所有 违者必究



前言

本书自出版以来受到了广大教师、学生和工程技术人员的好评。由于课程教学计划和教学大纲的修改，有必要对本书第1版进行修订。考虑到教师和学生教材使用的建设性意见以及化工类专业学生先期课程内容，修订后的教材删除了微生物基础知识，内容力求简明扼要、重点突出，适用少学时（28~36学时）的教学需要。

生化工程属于生物工程和化学工程交叉学科。随着科学技术的进步，交叉学科在科技活动中显现出来的优势越来越明显，尤其是生物工程产品的提取方法，很大程度上应用了化工单元操作，因此作为化工及相关学科的学生，有必要学习生物工程的基本知识，为以后从事生化工程生产活动提供有益的帮助，同时对从事生化工艺生产和生化工程设计的工程技术人员也有很好的参考价值。考虑到化工类及相关专业学生对化工单元操作的理论学习已经有了基础，因此本书在第六章中不再对基础理论作过多的篇幅介绍，重点介绍化工单元操作设备类型和结构。

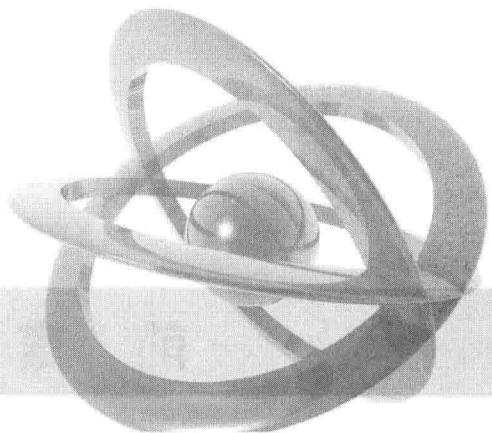
本书由方书起、陈俊英主编，负责全书的大纲制订和统稿。参加人员及分工如下：刘利平编写第1章；常春编写第2章和第3章；陈俊英编写绪论和第4章；方书起、白净编写第5章；李洪亮、韩秀丽编写第6章。

借此机会也对参加过第1版教材的编写人员表示感谢。再版后的教材没有把第1版引用的参考文献一一列出，在此对被引用文献的作者表示歉意。

限于作者水平，修订后的教材恐仍有不妥及疏漏之处，敬请读者批评指正。

作者

2016年7月



第1版前言

生物化学工程（简称生化工程）是微生物和生化反应工艺过程发展到一定阶段的产物，而生化工程的建立和发展也将推动原有工艺过程的改进和新工艺过程的开发。生化工程的任务，简言之就是处理与生物学有关的工艺过程中的工程技术问题。目前，生化工程应用的领域日益扩大，除了应用于有机酸、溶剂、多聚物、抗生素和甾族化合物等的生产以外，在微生物蛋白制造、废水生化处理和酶的生产等方面的应用都有着巨大的潜力。生物化工是生物技术转化为生产力、实现产业化和成为商品的关键，也是目前我国生物技术发展的关键。为了发展我国的生物技术，使之成为一个有显著经济效益的高技术产业，必须重视和大力推动生物化工的科技研究和工程开发。为此，我们组织编著了这本《生化工程与设备》。

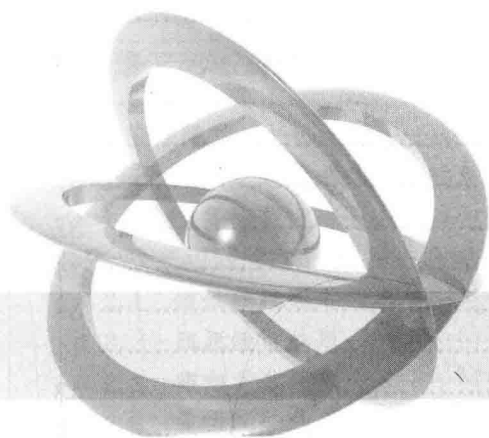
本书着重阐述生化工艺过程原理、所用设备及设备结构、选型和设计。内容包括微生物学基础、培养基的制备、培养基的灭菌、空气除菌设备、生化反应器及分离过程与设备。可使读者了解生物化工技术的内容和原理。对从事生化工程设计和指导生化工艺过程的工程技术人员也有很好的参考价值。

本书由郑州工学院组织编著，马晓建担任主编，并负责全书的审定工作。李洪亮、方书起担任副主编。参加编写人员及编写分工如下：马晓建编写绪论和第四章第一、二节；常春编写第一章；刘丽萍编写第二、三章；徐芳编写第四章第三、四节；方书起编写第五章；李洪亮编写第六章第一、二、三、四、七、八、十一节；陈华伟编写第六章第五、六节；刘洛娜编写第六章第九、十节。

生物技术是一新兴学科，研究内容及成果发展很快，由于时间仓促，难免出现疏漏，再加上作者水平有限，可能会出现不当乃至错误之处，恳请专家和读者批评指正。

编者

1995年10月



目 录

绪论 1

- 0.1 生物工程基本内容 1
- 0.2 生化工程的提出 2
- 0.3 生化工程与生物工程的关系 2
- 0.4 生化工程基本内容 3
- 0.5 生化工程研究进展 5

第 1 章 7

固体原料的输送与粉碎

- 1.1 微生物发酵主要原料 7
 - 1.1.1 碳源 7
 - 1.1.2 氮源 11
- 1.2 原料的输送 13
 - 1.2.1 机械输送 13
 - 1.2.2 气流输送 19
- 1.3 固体原料的粉碎 26
 - 1.3.1 原料筛选 26
 - 1.3.2 原料粉碎 27

第 2 章 30

原料的蒸煮与糖化

- 2.1 原料的蒸煮 30
 - 2.1.1 淀粉的结构 30
 - 2.1.2 淀粉的膨胀与溶解 30

2.1.3 蒸煮时原料各组分的变化	31
2.1.4 蒸煮工艺	32
2.2 淀粉水解糖的制备	36
2.2.1 淀粉水解糖的生产	36
2.2.2 糖化设备	37
2.3 酒精蒸煮醪的糖化	37
2.3.1 糖化剂的种类	38
2.3.2 糖化剂的生产	38
2.3.3 蒸煮醪的糖化	40
2.4 麦芽汁的制备	43
2.4.1 啤酒麦芽汁的制备	43
2.4.2 糖化设备	43
2.5 柠檬酸生产原料的液化	44
2.5.1 间歇法	45
2.5.2 连续液化法	45
2.6 纤维素类生物质原料处理	45
2.6.1 纤维素生物质组成	46
2.6.2 酸水解法	47
2.6.3 酶水解法	48
2.6.4 蒸汽爆破法	49

第3章

51

工业培养基的配制与灭菌

3.1 培养基的配制	51
3.1.1 培养基的类型	51
3.1.2 培养基的配制原则	53
3.1.3 培养基的选择	54
3.1.4 影响培养基质量的因素	55
3.2 培养基的灭菌	56
3.2.1 培养基灭菌的方法	56
3.2.2 培养基灭菌的原理	57
3.2.3 影响培养基灭菌的因素	58
3.3 培养基灭菌流程	60
3.3.1 固体培养基的灭菌	60
3.3.2 液体培养基的灭菌	60
3.3.3 发酵附属设备及管路的灭菌	62
3.4 培养基灭菌设备	62
3.4.1 连消塔	62
3.4.2 维持罐	64

4.1 空气除菌 65

4.1.1 通风发酵对无菌空气的要求..... 65

4.1.2 空气除菌方法..... 67

4.2 空气过滤除菌原理 68

4.2.1 惯性碰撞滞留作用..... 69

4.2.2 阻拦滞留作用..... 69

4.2.3 布朗扩散作用..... 70

4.2.4 重力沉降作用..... 70

4.2.5 静电吸附作用..... 70

4.3 空气过滤除菌工艺要求与流程 71

4.3.1 空气过滤除菌工艺要求..... 71

4.3.2 空气过滤除菌流程..... 72

4.4 空气处理设备 74

4.4.1 空气压缩机..... 74

4.4.2 空气储罐..... 74

4.4.3 空气冷却器..... 75

4.4.4 气液分离器和除雾器..... 76

4.4.5 空气过滤器..... 77

5.1 概述 86

5.1.1 生化反应器的类型..... 86

5.1.2 生化反应器的特征..... 87

5.1.3 生化反应器的基本要求..... 87

5.2 厌氧发酵和设备 87

5.2.1 酒精发酵设备..... 87

5.2.2 啤酒发酵设备..... 91

5.3 机械搅拌式发酵罐 94

5.3.1 机械搅拌式发酵罐的结构..... 94

5.3.2 机械搅拌式发酵罐的换热装置..... 98

5.3.3 机械搅拌式发酵罐的管路配置要求 100

5.3.4 机械搅拌式发酵罐的搅拌功率 101

5.3.5 氧的溶解 102

5.3.6 机械搅拌式发酵罐的放大 106

5.4 气升式发酵罐 108

5.4.1 气升式发酵罐的工作原理 108

5.4.2 气升式发酵罐的结构	109
5.4.3 气升式发酵罐的设计计算	112
5.5 固体发酵罐	115
5.5.1 固体发酵	115
5.5.2 固体发酵设备	115
5.6 其他反应器及进展	116
5.6.1 酶反应器	116
5.6.2 膜反应器	118
5.6.3 动、植物细胞反应器	120
5.6.4 发酵设备进展	122

第 6 章

产物分离和提取设备

124

6.1 过滤和离心分离	124
6.1.1 过滤	124
6.1.2 过滤设备	125
6.1.3 离心分离	129
6.1.4 离心机的类型	131
6.2 蒸发和结晶	134
6.2.1 蒸发与蒸发器	134
6.2.2 蒸发装置	140
6.2.3 结晶与结晶设备	143
6.2.4 结晶器的设计	146
6.3 干燥	147
6.3.1 干燥原理	147
6.3.2 对流干燥流程	149
6.3.3 干燥设备	150
6.4 萃取	160
6.4.1 液-液萃取操作流程	161
6.4.2 萃取操作的特点	162
6.4.3 影响萃取操作的因素	162
6.4.4 萃取设备	163
6.5 精馏	167
6.5.1 精馏的概念	167
6.5.2 板式精馏塔	170
6.5.3 填料精馏塔	174
6.6 吸附和离子交换	176
6.6.1 吸附	176
6.6.2 离子交换	180
6.7 色谱分离	188

6.7.1 色谱法的基本概念 188

6.7.2 色谱法的分类 190

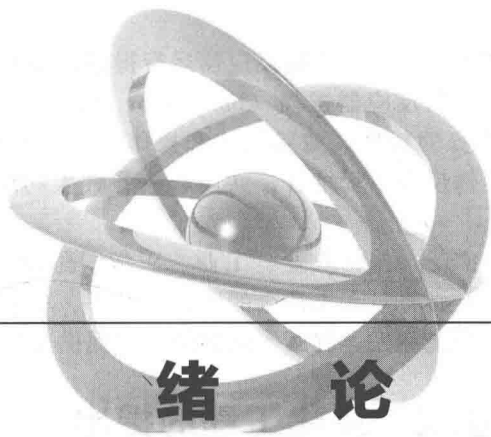
6.7.3 色谱法工艺过程与设备 191

6.8 膜分离技术 192

6.8.1 膜种类和性能 193

6.8.2 膜分离过程 193

6.8.3 膜分离设备 194



绪 论

0.1 生物工程基本内容

生物工程 (bioengineering) 是 20 世纪 70 年代初开始兴起的一门新兴的综合性应用学科, 也称为生物工程技术 (bioengineering technology)。一般认为生物工程主要是应用生物学、化学和工程学的原理借助生物催化剂的作用将物料转化为产品或从事社会服务的科学技术。生物工程应该具有以下两个特点:

i. 生物工程应该研究能够控制生物遗传的操作技术, 运用这种技术去改造旧生物或创造新生物;

ii. 生物工程是直接应用或模仿生物的机能而为改善人类的物质生活和为生产服务。

生物工程的内容包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和生物反应器工程五大工程。

(1) 基因工程

基因工程 (gene engineering) 又称遗传工程, 是根据生物的遗传特性, 采用类似工程设计的方法, 人为地用一种生物细胞中的基因替换另一种生物的某些基因, 实现基因的转移和重新组合, 从而改变生物的性状和功能, 创造出新的生物。基因工程又常称为基因重组技术。

(2) 细胞工程

细胞工程 (cell engineering) 是一种广义的遗传工程, 它是把一种生物细胞、携带着全套遗传基因的细胞核或染色体整个地转移给另一种生物细胞, 从而改变受体细胞的特性, 改良品种或创造新品种。它能用人工方法把遗传物质不同的两个活细胞, 结合成为一个同时具有这两种细胞优良性状的新细胞, 细胞工程又常称为细胞融合技术。

(3) 酶工程

酶是一些由细胞制造出来的特殊蛋白质, 是生物催化剂。酶工程 (enzyme engineering) 就是利用酶的特异催化功能, 快速、高效生产产品的一门技术。

(4) 发酵工程

发酵工程 (fermentation engineering) 是指通过现代工程技术手段, 利用微生物的特殊功能生产有用物质, 或直接将微生物用于工业生产的一种技术体系。它包括了优良菌种的选育、微生物菌体的生产、微生物发酵生产产品、微生物对某些化学物质的改造、对有毒物质的分解以及细菌选矿、细菌冶金等。发酵工程又称微生物工程。

(5) 生物反应器工程

生物反应器有各种各样的形式,要使生物反应器运行得好,必须首先对生物反应器和反应特征有深刻的理解,这就是生物反应器工程(bioreactor engineering)的概念。生物反应器工程着重研究生物反应器本身的特性,如其结构和操作方式,操作条件与细胞形态、生长、产物形成的关系。它与生物反应工程结合,共同解决各种生物反应的最佳生物反应器、最佳操作条件的选择问题。

生物工程的应用领域非常广泛,包括农业、工业、医学、药理学、能源、环保、冶金、化工原料、动植物、净化等。它必将对人类社会的政治、经济、军事和生活等方面产生巨大的影响,为世界面临的资源、环境和人类健康等问题的解决提供美好的前景。

0.2 生化工程的提出

传统的微生物发酵制品——发酵食品和饮料已具有悠久的历史,但其生产技术具有浓厚的地方性和较强的经验性,生产设备一般也较简单。19世纪末和20世纪初工业微生物产品虽有发展,但其产品如乳酸、乙醇、丙酮-丁醇等大多为厌氧发酵产物,产物的分子结构比基质更为简单,属初级代谢产物,生产技术及设备也并不很复杂。

20世纪40年代,抗生素的卓越疗效被证实,需求量日益增加。由于抗生素生产属好气发酵类型,产物的分子结构复杂,为次级代谢产物,在培养液中的含量很低,生产过程中需要维持纯种培养,无菌要求很高。为了增加抗生素的产量,突出的问题是将原来生产劳动强度大、占地面积多的表面培养法改变为采用大容积发酵罐生产的沉浸培养法,以及采用高效提取精制设备代替原来实验室提取精制手段。于是一批工程技术人员,特别是化学工程师参加了抗生素生产的工业开发工作。在他们的努力下,适用于纯种和沉浸培养带有通气和搅拌装置的发酵罐终于研制出来。初期生产青霉素的发酵罐容积是 5m^3 ,比起表面培养时的1L玻璃瓶来产量大为增加,劳动强度大大降低。此外,他们还成功地解决了大量培养基和生产设备的灭菌问题,以及采用介质过滤法解决大量无菌空气的制备问题。在提取精制中采用了离心萃取机、冷冻干燥器等新型高效化工设备,对产品的产量、质量和收率均有明显的提高。工程技术人员的参加,不但促进了抗生素生产的工业化,也孕育出一门新的交叉学科——生化工程的出现。1947年,美国Merck药厂因在建立抗生素工业中的贡献被授予McGraw-Hill“生化工程专题研究”成果奖,其后生化工程的名称就一直沿用至今。

0.3 生化工程与生物工程的关系

生物化学工程(简称生化工程)是运用化学工程的原理与方法将生物技术的实验室成果进行工业开发的一门学科。它既可视作化学工程的一个分支,也可认为是生物工程的一个组成部分。

如图0-1所示,所指的生物工程是广义的,它是生物学与工程学的交叉产物,一般不直接涉及化学反应,大致包括农业工程、环境卫生工程、医学工程、仿生工程、人体功能工程等。而狭义的生物工程(图中的生物技术,即生化工程)是生物工程与化学工程的交叉学科,涉及化学反应,并采用了生物催化剂。

凡由生物工程所引出的生产过程可统称为生物反应过程,大致可由图0-2所示流程表示。

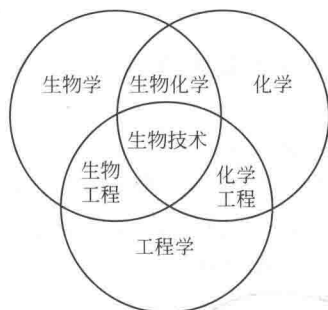


图 0-1 生物工程与基础学科的关系

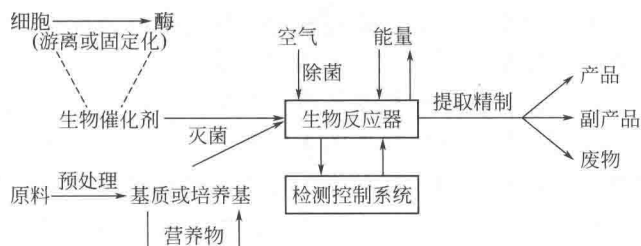


图 0-2 生物反应过程示意图

在生物反应过程中，若采用活细胞（包括微生物、动植物细胞）为生物催化剂，称为发酵或细胞培养过程，若采用游离或固定化酶，称为酶反应过程。

生化工程实质上就是研究生物反应过程中带有共性的特殊工程技术问题的学科。

0.4 生化工程基本内容

生化工程主要是为生物反应过程服务的，用以解决一些带有共性的技术问题。

人们常把生物反应过程中的生物反应器作为过程的中心，而分别把反应器前与反应器后的工序称为上游和下游加工。下面将分别围绕上、中、下游来阐明有关生化工程的内容。

(1) 上游加工的特点

在上游加工中最重要的是提供和制备高产优质和足够数量的生物催化剂（由常规选育或经现代生物工程方法获得的菌株、细胞系，或从中提取的酶，必要时须进行固定化）。这方面的工作通常由生物学的工作者来担任，但生化工程工作者应尽可能多地了解它们的生理生化特性和培养特性，为此必须掌握一定的微生物学、细胞学及生理生化知识。此外，还应考虑大规模种子培养或固定化生物催化剂的制备问题以及如何将其在无菌情况下接入生物反应器中等问题。

在上游加工中还包括原材料的物理和化学预处理、培养基的配制和灭菌等问题。这里含有较多的化工单元操作（主要是物料破碎、混合和输送）、热量传递以及灭菌动力学和营养成分的降解动力学等问题。

(2) 中游加工的特点

生物反应器是整个生物反应过程的关键设备，所谓生物反应器是为特定的细胞或酶提供适宜的增殖或进行特定生化反应环境的设备，它的结构、操作方式和操作条件对产品的质量、转化率和能耗有着重要的影响。

在生物反应器中存在着气-液-固三相的混合、传质和传热问题。不少发酵液还呈现非牛顿型的流变学特性，因此存在大量化学工程的问题。可以把生物反应器中的每一个细胞都看成是一个微型反应器（它存在着与外界环境的物质和能量交换以及物质的分解和合成），要使每一个细胞都处于同一最佳环境下才能使整个生物反应器维持最佳状态。由此可见，生物反应器中的混合、传质和传热问题是何等重要。

生物反应器的设计和放大并不完全是化学工程问题，还必须弄清目标产物的生化反应特征，如细胞的生理特性、繁殖规律、代谢途径、产品形成条件以及细胞受机械剪切的影响。由此派生出来的生化工程问题有培养过程氧和基质的供需和传递、细胞的生长动力学、发酵动力学、酶反应动力学、培养液的流变学、生物反应器的放大等一系列带有共性的工程技术

问题。

不少重要的生物反应过程是好气过程，为此生化工程要解决大量无菌空气的供应问题，包括空气压缩、预处理、无菌过滤等。

由于生物反应过程受环境（温度、pH 值、溶解氧等）的影响明显。此外由于生物催化剂的不稳定性和过程操作的无菌要求等原因，过程一般是分批操作的，各种反应参数随时间变化。因此对生物反应过程的参数监测和控制就显得十分重要。过程的无菌要求增添了在线监测的困难和对传感器能耐受蒸汽灭菌的要求。过程参数随时间变化则增添了过程控制的困难，较理想的控制策略是建立在过程模型化（指简单反应过程）或专家系统（指复杂反应过程）的基础上利用计算机在线数据监测、数据处理和参数控制。这些也都属于生化工程的研究范畴。

生化反应器按其混合方式，可分为机械搅拌、循环泵式和空气鼓泡式（气升式）三大类。然而在相当长一段时间内，由于发酵工业偏重于优良菌种和工艺的改进（忽视探求工业生产设备改进的生化工程学），对生化反应器本身的研究，尤其是对新型反应器的开发所作的努力不够，因而多年来最常用的还是源于化学工业的机械搅拌罐。这种传统的“标准罐”能耗大、结构复杂、放大困难、易染菌、机械搅拌产生的过强剪切力会影响培养物细胞的生理特性，在黏度较大的培养液中气液接触不良。

为解决上述问题，近些年来开发了气升式、自吸式、喷射式、筛板塔式等若干新型生化反应器。这些反应器各有特点，其中发展的主要趋势之一是从机械搅拌过渡到气流搅拌，而改进的核心仍是提高传氧系数和节约能量。

由于气升式发酵罐比机械搅拌式发酵罐有明显的优点，在生产 SCP、丝状真菌、废水处理中已获得广泛应用。20 世纪 70 年代初，英国 ICI 公司开发了一种用甲醇连续生产 SCP 的气升式发酵罐，以后又成功地将其应用于废水的生物处理，并在有关国家推广（目前 ICI 公司已放大至 2000m³）。国内也已建成了用于酵母、味精工业生产和废水处理的气升式发酵罐。郑州大学生化工程中心研制开发的带有静态混合元件的气升式发酵罐，已成功地应用于谷氨酸、柠檬酸、抗生素和黄原胶的生产，节能效果显著。

（3）下游加工的特点

下游加工的任务是将目标产物从反应液中提取出来并加以精制，以达到规定的质量要求，应该说这一系列的提取精制非常不容易。一般而言，在反应液中目标产物的浓度是很低的，最高的乙醇也仅 12% 左右，氨基酸一般不超过 8%，抗生素一般不超过 5%，酶制剂一般不超过 1%，一些基因工程或杂交瘤产品则更低，如胰岛素一般不超过 0.01%，单克隆抗体一般不超过 0.0001%。另一困难是反应液杂质常与目标产物有相似的结构。此外一些具有生物活性的产品对温度、酸碱度以及日光都十分敏感，一些作为药物或食品的产品对纯度、水分、有害物质含量、无菌或洁净程度都有严格的要求。总之，下游加工的程序多，要求高，往往占生物工程产品成本的一半以上。

一些典型的化工单元操作，如液-固分离、液-液萃取、吸附、蒸馏、蒸发、沉淀、结晶、干燥等都常用于下游加工，但所用的设备一般应满足高效、快速、低温、洁净（或无菌）的要求，如低温（或冷冻）高（或超）速离心机、连续离心萃取机、离心薄膜浓缩机、冷冻干燥机等。也有些用于分离精细化工产品的手段和装置常用于下游加工，如离子交换、凝胶过滤、色谱分离（采用常规或带有配基的亲分离介质）、电泳、超滤、反渗透、电渗析、双水相萃取、超临界萃取等。当产物包含在细胞内，可根据情况采用溶剂进行液固萃取或将细胞用研磨、超声、高压匀浆或冻融等方法进行破壁，然后在去除细胞残片后再用类似处理胞外产物的方法进行提取精制。

0.5 生化工程研究进展

虽然微生物生化工程取得了很大进展,但由于微生物的复杂性和多样性及试验条件的局限性,在此领域内很多理论与实际问题还有待今后进一步研究和探讨。

从学科影响的角度看,今后微生物生化工程的发展,很大程度上取决于物理微生物学和微生物生理学(特别是反应动力学)的进展程度。这是因为:①与流体力学、表面和界面化学以及分子生物学这些对生物工程发展具有重要影响的学科相比,目前在讨论微生物的物理行为即物理微生物学时,尚缺乏足够的资料依据;②尽管近年来对微生物反应(生长和发酵)的动力学已有了较深的了解和应用,但用实验室得到的数据来评价工业规模的工艺方法和工艺设计时,仍存在数据多变性及适用数值范围不够的问题。将来应发展出一些合理的理论或定律(能够清楚地描述与所使用微生物的适当环境有关的微生物行为),才能促进微生物生化工程的进一步发展。

目前生化工程研究和应用的领域日益扩大。除了许多代谢产物的发酵生产外,在微生物蛋白的制造、废水生化处理、酶的生产以及超滤和酶的固定化等方面的应用都有着巨大的潜力。展望未来,随着DNA重组技术和原生质体融合技术等生物工程技术的出现,预期今后生化工程的研究内容将在下列四方面得到重点发展。

i. 新型生物反应器的研究开发,特别是针对基因工程产品和动植物细胞培养产品的新型生物反应器投产研制。

前者与一般微生物发酵罐无基本区别,但须考虑“生物安全”及基因重组菌不够稳定的问题,为此应有可靠的轴封、排气灭菌、取样灭菌等装置和具有灵活多样的控制手段。也就是说,发酵反应器及工业规模灭菌技术等改进和提高,仍然是重要的研究课题。

后者属动植物生化工程问题,目前还处于开始发展阶段。各种各样的动植物培养器类型不少,但较成熟的不多。这里主要应考虑动植物细胞对机械剪切和对环境影响敏感的问题,以及培养周期长和需要防止污染的问题,对大多数动物细胞来说还应考虑细胞的附壁生长的特性。

再者,还应研制适应高黏度、高密度发酵或培养的生物反应器,以及一些大型(100m^3 以上)和特大型(超过 1000m^3)的高效节能生物反应器。在设备大型化方面,除考虑强化传热和传质问题外,空气过滤方法和过滤效率、空气喷射口的设计、高效大型搅拌器的设计、培养基冷却方式及控制的自动化问题,特别是如何防止整个培养系统的杂菌污染,这一系列的工程学问题都有解决的必要。对已研制的反应器还应继续研究其混合、传递特性,以便改进和进行放大。

此外,固态发酵对某些产品的生产(如饲料、 α -淀粉酶等)仍不失为一种有效的微生物培养方式,但实际用于发酵的固态反应器由于工程放大等难题,目前国内外很少有定型产品(虽然报道过的固态发酵反应器有多种形式)。所以研究开发固态发酵反应器也应成为生化工程研究的一大课题。

ii. 新型分离(特别是针对蛋白质、多肽产品等的分离)方法和设备的研究。

目前用于此类产品的分离方法虽较多,但有的不够有效,有的只能用于实验室规模,对有关分离方法的原理和设备设计放大问题也还不够成熟,因此生化分离工程尚有不少研究课题和发展余地。

iii. 各种描述生物反应过程的数学模型的建立,将有利于过程的控制和优化以及计算机的应用。

数学模型的基础是动力学的研究，但由于微生物生化反应通常极其复杂，而且由于环境的影响，各种酶要受到诱导或抑制，加上微生物本身的变异，极难对反应系统中基本的生化反应进行深入细致的研究。今后应加强对微生物反应过程的综合性考察，充分研究微生物反应的本质，以便进一步指导各种大型化、连续化生化反应器的开发设计及工业发酵的科学管理。鉴于某些参数如细胞浓度、产物浓度、甚至基质浓度目前难以测定（特别是在线监测），使动力学研究发生困难，因此也可结合实际经验或实际生产数据通过回归法得出半经验的数学模型，更理想的是根据不同发酵或培养周期分别作出有关数学模型。

iv. 改进生产过程的控制手段。

重点是研制能在线反映生物反应器内重要参数的传感器，及建立和完善有关计算机控制系统的硬件（检测信号的条件化和显示系统、人机对话系统、执行系统等）与软件（自适应动态控制系统、专家系统等）。尽管目前由于缺乏某些关键性的传感器和能确切描述发酵过程的动力学模型，限制了电子计算机的应用，但可以肯定，使用电子计算机来进行数据处理和过程控制，自动调节包括主要营养成分、细胞体和代谢产物在内的物理与化学的环境因子已不是很遥远的事情。

总之，由于科学技术日新月异的迅猛发展，各种监测手段不断提高，特别是电子计算机及互联网的广泛应用，生化工程的发展具备了越来越好的条件。生化工程所涉及的范围包括定义和内容都会随着科研与生产的发展而有所改变，其学科体系还要不断地充实，这一学科对社会的重要性也将越发明显。例如，对于化学工业来说，通过革新改造现有的有机合成化学工艺和引进生化工程，可望今后迎来新的发展时期——利用一座座高效节能、低公害的生物发酵工厂生产大量的传统化工产品（可称之为生物工程化工产品）。

第1章

固体原料的输送与粉碎

1.1 微生物发酵主要原料

发酵工业所用的原料种类很多，有含淀粉和可发酵糖的农产品及石油中的一些成分。但在工业上选择原料时，不但要考虑工艺上的要求，还要考虑生产管理和经济上的可行性。所以大规模工业生产选择原料一定要因地制宜，就地取材，而且价格要低廉。此外，还要使原料中可利用成分高，抑制生长和产物形成的物质少，便于采购运输，能保证生产上的应用。

目前工业上使用的主要原料为碳源和氮源，此外，还有一些辅助原料。

作为碳源的原料主要有：

- i. 淀粉质原料，如甘薯、木薯和谷物等；
- ii. 粗制糖类，如粗蔗糖、水解糖和饴糖等；
- iii. 制糖工业副产品，如糖蜜、葡萄糖母液、冰糖母液等；
- iv. 含正烷烃较多的石油馏分及其它原料。

作为氮源的原料，主要有无机氮源和有机氮源。此外还有无机盐、生长素和促进剂等辅助原料。

1.1.1 碳源

1.1.1.1 淀粉质原料

(1) 甘薯类

甘薯，又名甜薯、红薯、白薯或番薯，在华东一带叫山芋，华北称为地瓜，四川附近称为红苕。甘薯在我国分布广泛。尤其以安徽、四川、山东、河南、河北地区为多。

甘薯的品种很多，按块根表皮颜色可分为红皮、白皮、黄皮、紫皮四种；按肉色可分为红心、黄心、紫心、灰心四种；按成熟期可分为早熟、中熟和晚熟三种。

甘薯属高产作物，食用部分是块根，其形状因品种而异，有圆形、椭圆形或不规则形状。鲜甘薯含有大量水分和糖分，营养充足，极易受微生物污染而腐烂，尤其在表皮受伤之后更是如此，因此极难储存。甘薯的病害很多，主要如黑斑病、软腐病、毒霉病等，这些都是杂菌侵入而引起的。

甘薯的化学成分，根据地区、品种、栽培条件等因素不同，含量也不同。甘薯类原料的一般成分如表 1-1 所示。