

工业中的生物技术

—应用及单元操作实例

[美] R. 乔格莱卡 R.J. 克拉曼

R.P. 奥埃利特 P.N. 切雷木西诺夫

化学工业出版社

工业中的生物技术

应用及单元操作实例

【美】 R. 乔格莱卡 R. J. 克拉曼
R. P. 奥埃利特 P. N. 切雷末西诺夫
严子纲 郭铨 译

化学工业出版社



内 容 提 要

本书在三个方面综述了生物技术在工业中的应用情况: 1) 从纸浆及造纸工业废水中提取蛋白质及化学制品, 2) 从有机废料中提取食用单细胞蛋白, 3) 用固定化酶技术制取高果糖浆。作者以北美先进的工业装置为例, 详细介绍了这三个应用领域的工艺过程、产品利用、成本估算和过程评价, 并对每个生产流程各自进行改造和更新的可能性作了估计。另外, 本书通过一组“单元操作”对生物技术的工业应用作了较详细的说明并介绍了最近的技术进展, 为评价诸如此类的过程提供了依据。

全书由中科院化工冶金研究所副研究员严子纲、副研究员郭铨译。

R. Joglekar R. J. Clerman

R. P. Ouellette P. N. Chermisinoff

BIOTECHNOLOGY IN INDUSTRY

Selected Applications

and Unit Operations

Ann Arbor Science publishers, 1983

工业中的生物技术

——应用及单元操作实例

严子纲 郭铨 译

责任编辑: 李洪勋

封面设计: 许立

•

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

•

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $5^{1/8}$ 字数145千字

1990年5月第1版 1990年5月北京第1次印刷

印 数 1—1,500

ISBN 7-5025-0241-6/TQ·199

定 价 3.80元

序 言

本书详细研究了生物技术在工业中应用的若干实例，概述了工艺设计和设备方面的研究和发展工作，并在下列三种同类型的应用领域描述了工业生产过程：

- (1) 从纸浆及造纸工业废水提取蛋白质及化学制品；
- (2) 从有机废料中提取食用单细胞蛋白 (SCP)；
- (3) 用固定化酶技术制取高果糖浆 (HFCS)。

本书除了提供工艺、产品和成本等信息外，还对每个生产流程各自进行改造和更新的可能性作了估计。对于含有化学、生物或物理变化的加工步骤，亦即单元操作，所作的综述为预测未来的研究和发展工作（例如生产的连续化、酶和细胞的固定化以及降低发酵和产品分离过程的能耗等）奠定了基础。

生物技术范围很广，包括各种生物过程和生物材料在工业中的应用。有史以来，食品和酒类的生产和加工一直利用发酵，但直到十九世纪才把发酵过程中微生物的作用弄清楚。虽说二次世界大战后，以石油为原料的加工方法有所发展，取代了生物技术的若干应用领域，但发酵仍然是食品和制药工业的重要组成部分。

当今生物技术正在许多工业领域中复苏。下列诸因素的协同作用重新唤起了人们对生物过程的兴趣：

- △ 能用廉价有机物质代替石油基原料；
- △ 能降低操作的温度和压力；
- △ 能减少对环境的危害。

此外，分子遗传学〔例如DNA(脱氧核糖核酸)重组技术〕和工艺设计（例如连续反应和固定化酶的应用）方面的最新进展有可能通过开发质量更好的新产品和改善现有产品的加工经济性而成为开拓新市场的基础。

MITRE公司一直在研究工业生产中生物技术的发展。本书是关于Electricite' de France资助的一系列研究中的第二本书，它详细探讨了下列三个加工领域：

- △ 从纸浆及造纸工业废水中提取蛋白质和化学制品；
- △ 从有机废料中制取食用单细胞蛋白；
- △ 用固定化酶制取高果糖浆。

本书作者撰写的有关上述研究课题的第一部书是《生物技术及能量利用》(Biotechnology and Energy Use)，该书已于1981年由Ann Arbor Science出版。

书中提供了现代工业装置的有关资料，以及研究和开发可能带来各种改革的信息。为了给这些过程或其它过程的评价提供依据，用一组“单元操作”来详细说明生物技术，并对最近工业方面的进展作了综述。

本书作者谨向加拿大安大略省Waterloo市Waterloo大学生化工组顾问Murray Moo-Young和C. W. Robinson表示感谢。MITRE公司的Irwin Frankel提出了评论意见，Bob Atkins和制图部帮助制作插图，图书馆职员协助收集文献，Barbara Dougherty帮助准备文件，Virginia Gaughan耐心和熟练地打字，在此一并致谢。

我们衷心感谢Electricite' de France对本项目的赞助、支持和鼓励。

R. 乔格莱卡

R. J. 克拉曼

R. P. 奥埃利特

R. N. 切雷末西诺夫

目 录

序言

第1章 引言	1
1.1 背景和目的	1
1.2 范围和方法	2
1.3 本书的编排	3
第2章 从亚硫酸盐废液生产酒精	5
2.1 工艺沿革	5
2.2 工艺描述	6
2.2.1 废液回收及发酵前预处理	10
2.2.2 发酵过程和发酵液回收	15
2.2.3 蒸馏	16
2.3 过程控制	19
2.4 其它制法	20
2.5 产品用途	20
2.6 价格估算	21
2.7 评价	23
第3章 从亚硫酸盐废液生产酵母	27
3.1 工艺沿革	27
3.2 过程描述	28
3.2.1 废液的回收及汽提	29
3.2.2 发酵(酵母增殖)	34
3.2.3 分离及回收	38
3.3 产品特性和用途	41
3.4 价格估计	43
3.5 评价	44
第4章 由有机废弃物制造单细胞蛋白(SCP)	47
4.1 工艺沿革	47

4.1.1 能用作底物的各类有机废弃物	48
4.1.2 食用单细胞蛋白	53
4.1.3 单细胞蛋白的生产工艺	56
4.2 Waterloo单细胞蛋白生物转化法	58
4.2.1 预处理	59
4.2.2 发酵	62
4.2.3 产品回收	62
4.2.4 单细胞蛋白中核酸的去除	63
4.3 产品的用途	65
4.4 成本估计	66
4.4.1 成本分析	66
4.4.2 Waterloo单细胞蛋白成本估计	67
4.5 评价	68
第5章 高果糖浆(HFCS)	71
5.1 工艺沿革	72
5.2 工艺描述	73
5.2.1 玉米湿磨	74
5.2.2 玉米精制(淀粉转化)	78
5.2.3 葡萄糖异构化制HFCS	79
5.3 过程控制	83
5.4 产品特性和使用	86
5.4.1 HFCS的用途	88
5.4.2 HFCS的供应与消费	89
5.5 成本估算	90
5.6 HFCS在欧洲	91
5.7 评价	93
第6章 生物技术中的单元操作	96
6.1 范围及方法	97
6.2 调研结果提要	97
6.2.1 生物催化剂的制备	98
6.2.2 底物的制备	100
6.2.3 反应	102
6.2.4 产品和催化剂的分离提纯	104

第7章 单元操作概述	106
7.1 细胞培养	106
7.1.1 悬浮细胞培养设备	106
7.1.2 固定化细胞培养法	106
7.2 固定化酶	108
7.2.1 用活性碳固定酶	108
7.2.2 多层固定化酶	108
7.2.3 在磁性材料上固定酶	109
7.3 底物的制备	111
7.3.1 双螺杆挤压器	111
7.3.2 研磨型生物反应器	113
7.4 灭菌	114
7.4.1 连续灭菌	114
7.5 反应	116
7.5.1 塔式发酵器	116
7.5.2 旋转发酵器	117
7.5.3 刮板型管式发酵器	119
7.5.4 全玻璃发酵器	121
7.6 监测	123
7.6.1 连续流动粘度计	123
7.6.2 光密度的连续监测	124
7.6.3 安装在罐内的浊度测定装置	125
7.6.4 细胞量传感器	127
7.6.5 微量热量计	127
7.6.6 测氧电极	130
7.6.7 酵母的生化耗氧量传感器	132
7.6.8 二氧化碳传感器	133
7.6.9 测量微生物生长的Coulter计数器	135
7.6.10 微生物活性测定	135
7.6.11 电抗法测定细胞浓度	138
7.6.12 用于测定代谢物亲和力的传感器	138
7.7 气体控制	140
7.7.1 发酵液中气体的导入法	140

7.7.2 气体收集装置	141
7.8 能量回收	142
7.8.1 废气的能量回收	142
7.9 膜分离	144
7.9.1 反渗透用于处理过程料流	144
7.9.2 从发酵培养液中分离生物高聚物	146
7.10 悬浮固体的排除	148
7.10.1 双辅助分离器	148
7.11 细胞回收	149
7.11.1 收集细胞用的分离器	149
7.11.2 絮凝法回收细胞	150
7.12 蒸馏	151
7.12.1 乙醇回收系统	151
7.12.2 蒸汽再压缩的蒸馏法	152
7.13 吸附	154
7.13.1 吸附法分离水-乙醇混合物	154
第8章 提要	158
8.1 纸浆和造纸工业废液制取蛋白质和化学制品	159
8.1.1 亚硫酸盐废液制酒精	159
8.1.2 纸浆和造纸废液制SCP	159
8.2 从有机废料制取SCP	160
8.3 高果糖浆(HFCS)	161
8.4 生物技术中的单元操作	162
附录	164
单位换算	164
菌种名称英汉对照表	164

第1章 引言

1.1 背景和目的

将生物过程和生物材料用于工业生产可回溯到几千年以前。早在公元前六千年，巴比伦人和苏美尔人用酵母生产含酒精的啤酒。到大约公元前四千年，埃及人用酿酒酵母产生的二氧化碳制作发酵面包。几个世纪后，发酵过程已发展到用来生产各种食品，如醋、腌渍品和乳酪。但是，直到十七世纪人们才认识到存在微生物。又过了二百年，到1870年Pasteur证明正是这些微生物制造了各种发酵产品。其后一百年生物化学开始崭露头角，发展了各种工业生产过程以制取丙酮和丁醇等各种溶剂，并发现了青霉素和其它抗菌素。虽然二次世界大战后，以石油为基础的生产过程取代了某些发酵过程，但发酵仍是食品和制药工业的重要组成部分。

从这段有趣的历史回顾，“生物技术”这一新的术语脱颖而出，用来描述生物学（主要是微生物学）在现代工业中的应用。虽说当代生物技术方面最激动人心的发明创造都与重组DNA（遗传工程的有力工具）有关，但这仅是对近代生物技术起重要作用的因素之一。两方面的研究工作都正在加速进行：一是生物学方面，如酶的固定化、新品种开发和发酵动力学等，二是工程方面，如食品预处理、反应器设计和产品分离。

工业上采用微生物过程的优点来源于所有微生物共有的基本特征：尺寸很小而其比表面积很大。这样就促使养料很快输运到细胞中去，因此可维持很高的新陈代谢速度。每个细胞就像一座小型化学工厂这个常用譬喻是最合适不过了。微生物生活习性的千差万别从工业利用观点来看也是一个有利因素。不难发现，微生物能在最宽的条件下生存并代谢出各类物质。这样就有可能设计在常温常压

条件下操作并以廉价营养物质为原料的工业发酵过程。

除了对生物学和工程学原理的理解日益加深外，另外一些外部因素也促使生物技术近来大显身手。这些外部因素就是：

△ 能用廉价有机物质（如林业和农业废弃物）代替石油基原料；

△ 因操作温度和压力较低可降低能耗并使操作更安全；

△ 能减少对环境的危害。

由于上述原因，加上新技术的开发，使人们深信：就像六十年代出现微电子学那样，生物技术将是八十年代工业革新中最活跃的领域。有人预测到本世纪末生物技术产品的世界市场将达几千亿美元。

本书评价了现代工业规模生产过程并介绍了今后十年预料会出现的新一代技术。更确切地说是详细描写了下列三个新兴应用领域的工艺过程：

1. 从纸浆及造纸废水中提取蛋白质及化学制品；
2. 从有机废料中提取食用单细胞蛋白；
3. 用固定化酶技术制取高果糖浆。

其中每个过程都有工业装置正在操作或正在建造。为了确切地评价研究和开发出来的新一代技术，用一组单元操作来阐述生物技术，并列举有代表性的实例来说明每个生产环节中可以采用何种现有技术。

1.2 范围和方法

在北美最先进工业装置的基础上，详细描述了上述三个应用领域中的工艺过程。与作者们早先出版的那本书（《生物技术及能量利用》，Clerman等著，Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1981年在美国密执安州的Ann Arbor出版）不同，本书并非研究和开发工作的概述，而是对近代现有技术的行家鉴定。表1-1列举了精选的四个工艺过程及其代表性的应用领域。

这些过程的有关资料来自：

- △ 科技文献;
- △ 专利;
- △ 工艺、产品和设备的小册子;
- △ 工业界及学术界的专家。

因为这些工艺过程都有商业价值, 获得详细的资料有些困难。

表1-1所示的专卖条件是各不相同的。关于生产高果糖浆的资料是绝密的, 因为这一行业竞争最激烈。但可提供用Waterloo法生产单细胞蛋白示范工厂的有关资料。然而, 目前正在北美和欧洲建造的工业装置仍然是保密的。为了在上述限制条件下提供最佳说明, 我们用假想工厂逼真地模仿实际的工业装置, 定出可能的操作范围用来代替精确的数字。即使用了这个方法还会有一些差距, 这是用查阅文献或请教专家的办法无法弥补的。

1.3 本书的编排

第2至第5章描述各工艺过程。每章均按下列次序编排:

- △ 工艺沿革;

表 1-1 本书描述的工艺过程

应用领域	工艺过程	公司或工厂	可提供的资料
从纸浆及造纸废水中提取蛋白质及化学制品	从亚硫酸盐废液(SSL)中制取酒精	Georgia Pacific Corp., Chemical Division, Bellingham, WA	可提供操作范围等工艺数据; 有关成本的资料保密
	从SSL中提取酵母	Boise Cascade Corp, Portland, OR; Rhineland Paper Co, Rhineland, WI	同上
从有机废料中制取食用单细胞蛋白(SCP)	Waterloo SCP生物转化过程	Waterloo Centre for Process Development, Waterloo, Ontario	可提供示范工厂详细工艺资料; 建造中的大型工厂是专卖的; 可提供成本估算
高果糖浆(HFCS)	玉米的湿磨和精制	共有八家美国公司分析了一个假想工厂	工艺过程及成本估算均属绝密; 书中用的是估计和假想条件

- △ 过程描述;
- △ 产品利用;
- △ 成本估算;
- △ 过程评价。

各章内容多数是不言而喻的。过程评价部分拟按其现状进行过程评价并提出哪些方面可进行改进和更新的建议。有时在单元操作概述（第7章）中对涉及的工艺过程提出改进意见。

单元操作概述基于文献提供的资料，编排方式便于必要时增补和更新。第6章详细说明单元操作概述的范围及采用的方法，第7章则详述这些单元操作。第8章为本书及书中内容提供一个摘要。

第2章 从亚硫酸盐废液生产酒精

用亚硫酸盐废液 (SSL) 作为原料生产酒精的历史已有70多年。但这个方法直至二次大战工业酒精供应极为紧张时, 才在美国投入工业应用。

在纸浆和造纸工业中用酸煮解各类软硬木材形成纸浆后剩下的液体即为SSL。它含有游离或松散结合的二氧化硫、有机及无机可溶物和能溶解的可发酵糖类, 特别是己糖 (例如葡萄糖、甘露糖、半乳糖、或许还有果糖) 和戊糖 (例如木糖和阿拉伯糖)。在煮解中, 木材内的碳水化合物分解为简单的己糖 (它可被发酵产生酒精) 和戊糖 (它不能用通常的方法发酵)。SSL中固体的总量为10%, 可发酵糖类的重量百分比约为2%。

2.1 工艺沿革

1878年, A. Mitscherlich首先提出了对亚硫酸盐废液中的糖类进行发酵以生产酒精的方法并获专利 [McCarthy, 1954]。1907年在瑞典首次对SSL中糖类的发酵过程进行了大规模的研究。到1940年, 瑞典已有21家工厂将这种方法用于工业规模的生产, 其酒精产量为 $18.9 \times 10^6 \text{ l/a}$ ($5 \times 10^6 \text{ gal/a}$)。很快, 这种用SSL生产酒精的方法就极其它国家接受。到1949年, 全世界用SSL生产的酒精产量就在 $75.7 \times 10^6 \text{ l/a}$ ($20 \times 10^6 \text{ gal/a}$) 以上。这些生产过程包括含糖类的液体在培养发酵菌的大容器中发酵, 液体在罐中的停留时间为一至数天。

开发初期, 美国和加拿大试图建立用亚硫酸盐废液生产酒精的工厂但都未成功。直到二次大战时为了满足战时对合成橡胶、炸药、溶剂以及其它以酒精为原料的化学品的需求, 才导致了大规模的工业生产。

目前在美国，用亚硫酸钙造浆工艺的SSL为糖源来生产酒精的造纸厂只有一家，它就是位于华盛顿州Bellingham的Georgia Pacific Corporation化学部所属的工厂。它是纸浆厂的一个组成部分，其蒸汽、水及电力皆由纸浆厂供应。每年生产190度酒精将近 20.8×10^6 l (5.5×10^6 gal)。现在，该公司已能将其中的 8×10^6 l/a (2×10^6 gal/a) 的190度酒精提高到200度。

位于安大略省Thorold的Ontario paper Company的一家工厂是加拿大从SSL生产酒精的唯一工厂。

SSL也被用于生产其它化学制品，例如木质素和香兰素。但它们不是由发酵而是通过另外一些物理和化学方法产生的，是作为副产品从化工厂回收得到的。用SSL生产上述化学制品的有Crown Zellerbach公司在华盛顿州Camas的工厂，Georgia Pacific公司在华盛顿州Bellingham的工厂以及Monsanto公司在密苏里州St Louis的工厂。

2.2 工 艺 描 述

如图2-1所示利用微生物从木糖生产酒精的过程包括下列五个基本工序：

1. 回收并收集SSL
2. 发酵前SSL的预处理，
3. 加入酵母并发酵，
4. 分离发酵液并回收酵母以备再用，以及
5. 回收并提纯生产的酒精。

这里介绍的是产量为 18.9×10^6 l/a (5×10^6 gal/a) 的“概念化”酒精工厂的生产工艺。由于保密的原因，要获得美国及加拿大不同工业生产的特定工艺信息是困难的，因此，给出的工艺中就有一些差异，特别是在操作条件、进料速率及酒精的回收率方面。图2-2给出了工艺设备和某些工艺参数细节的综合流程图，它主要描述了汽提、发酵和蒸馏过程。

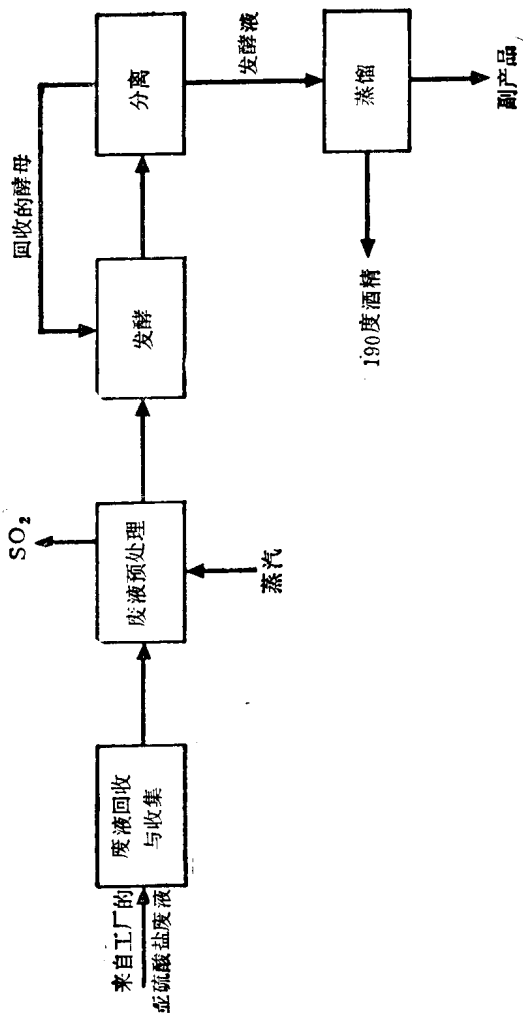


图 2-1 酒精生产工艺示意图

