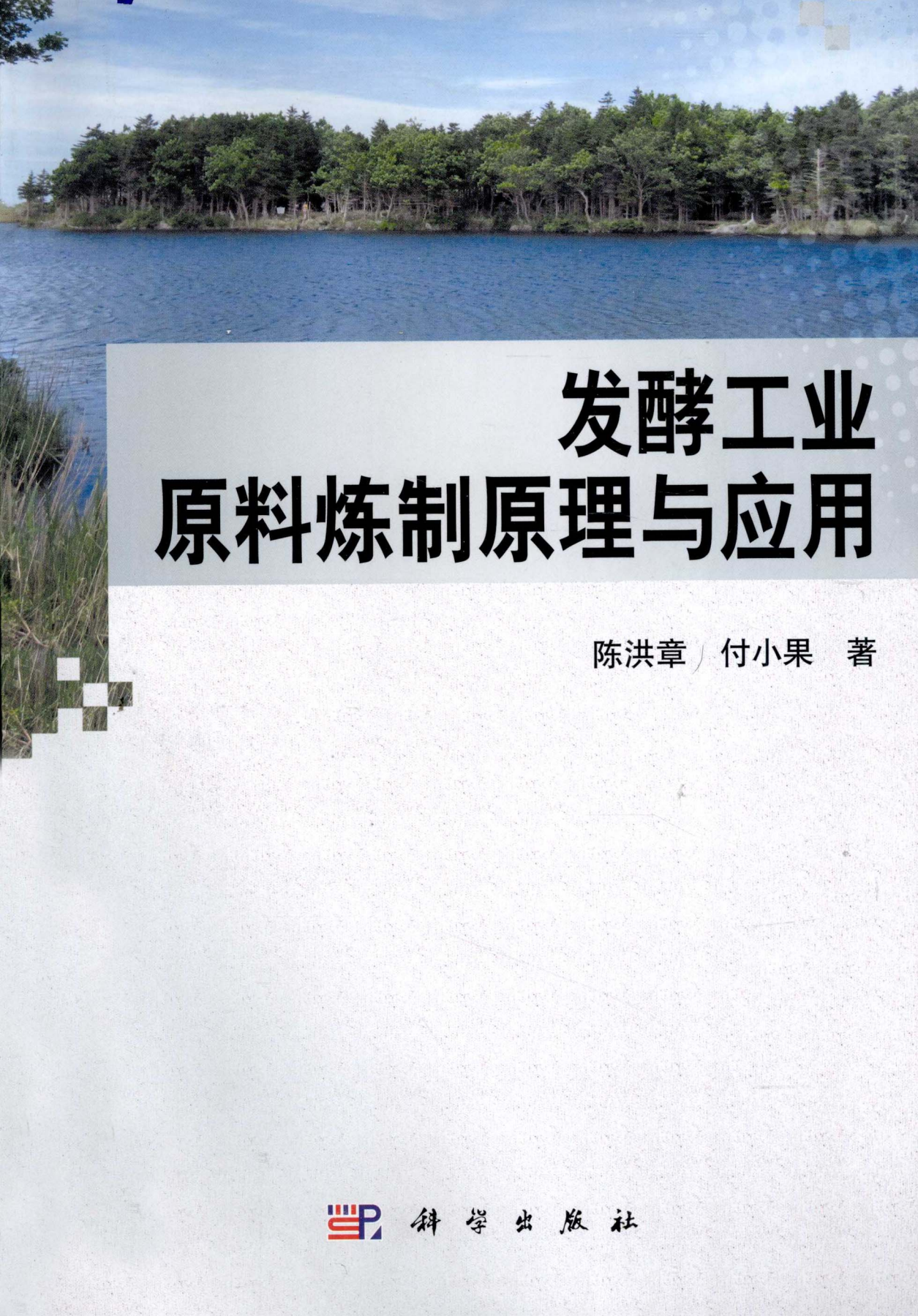




发酵工业 原料炼制原理与应用

陈洪章 / 付小果 著



科学出版社

发酵工业原料炼制 原理与应用

陈洪章 付小果 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

要建立节粮、节水、节能和环保的发酵工业,首先面临的是发酵原料的炼制问题。本书通过深入分析发酵工业原料炼制的共性问题,结合多年生物质原料高值化炼制研究基础,提出“发酵工业原料炼制”的理念,从“过程集成”和“结构与功能”角度,梳理了发酵工业原料炼制的科学原理,根据发酵原料的结构特点和目标产物的要求,将发酵原料预处理——组分分离提升到依据产品功能要求的选择性结构拆分过程,并系统阐述了淀粉类、糖类、木质纤维素类、有机废水以及城市生活垃圾等典型发酵原料的多组分分层多级炼制思路与发酵工业炼制模式,为实现资源节约、环境友好的发酵工业提供理论基础与技术支撑。

本书可供发酵工程、生物工程、生物技术等领域的研究生和其他研究人员阅读,也可供发酵相关企业的技术和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发酵工业原料炼制原理与应用/陈洪章,付小果著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034836-4

I. ①发… II. ①陈… ②付… III. ①发酵工业-原料-高等学校-教材
IV. ①TQ920.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 127962 号

责任编辑:杨向萍 陈 婕 孙 青 / 责任校对:张怡君
责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 19

字数: 372 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着化石原料的日益枯竭和人们对环保问题的关注,发酵工业体系可持续发展成为学术界与产业界的热点问题。现有的发酵工业是以粮食为主要生产原料的产业之一,发酵工业产品品种的增加和生产规模的迅速扩张必然增加粮食的消耗,导致粮食安全问题。1995年,发酵工业的5个行业生产产品133万t,消耗粮食约301万t;而2010年发酵工业产品总产量已达1683万t,是1995年产量的12.65倍,同时粮食消耗也相应增加。我国是一个人均耕地面积少的国家,人均粮食消费量不到400kg,因此降低粮食消耗是重要的战略问题。

随着发酵工业产品品种的增加和生产规模的迅速扩张,发酵工业中废水、废渣污染的问题越来越突出,存在组分利用单一、提炼技术单一、耗水、耗能等问题,这些问题导致原料利用率低、环境污染,严重制约发酵工业自身的生存与发展。据统计,在我国工业废水COD排放总量中,轻工行业工业废水占65%,其中发酵工业废水排放量仅次于造纸工业而稳居第二,成为一个大的污染工业。发酵工业成为一个大的污染工业,主要是因为发酵工业原料利用过程缺乏系统性理论指导,存在组分利用单一、提炼技术单一等问题。

几十年来,人们对待发酵工业的废水、废渣采用的是“末端治理技术”,出发点在于治理,即对产品生产过程所产生的废水采用各种技术进行治理,以求排放废水达到对环境无害的技术标准。实践证明,这是一种消极的、治标不治本的方法,特别是对大量的发酵工业原料利用中产生的高浓度有机废水,难以根治。末端治理技术是少量产出的技术,工程建设资金投入大,特别是昂贵的日常运行费用使企业难以负担,且生产规模越大越难以承受,既影响企业的正常发展,又制约发酵工业的发展。

在国家产业政策的正确引导下,发酵工业企业已经逐渐认识到只有提高原料利用率,建立清洁高效的原料预处理、提炼过程,从源头工艺控制、消除污染因素才能降低发酵的综合生产成本,提高企业经济效益,实现原料的利用价值,建立资源节约、环境友好的发酵工业体系。因此,可以说发酵工业首先要面临的是发酵原料的炼制问题。

本书在过程工程理论指导下,通过深入分析发酵工业原料炼制的共性问题,结合多年生物质原料高值化炼制研究基础,提出“发酵工业原料炼制”的理念;从“过程集成”和“结构与功能”角度,梳理了发酵工业原料炼制的科学原理;根据发酵原料的结构特点和目标产物的要求,将发酵原料预处理——组分分离提

升到依据产品功能要求的选择性结构拆分过程；并系统阐述了淀粉类、糖类、木质纤维素类、有机废水以及城市生活垃圾等典型发酵原料的多组分分层多级炼制思路与发酵工业炼制模式，为实现资源节约、环境友好的发酵工业提供了理论基础与技术支撑。发酵工业原料炼制技术的发展将扩大发酵原料的范围，并且在很大程度上决定发酵成本和发酵的清洁性，是发酵工业未来的重要研究课题。

作者在该方面的研究得到了国家重点基础研究发展计划（973 计划）（2004CB719700 和 2011CB707400）、国家高技术研究发展计划（863 计划）（SS2012AA022502）、“十二五”国家科技支撑计划（2011BAD22B02）、中国科学院知识创新工程重要方向项目（KGCX2-YW-328）和中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX1-YW-11A1）的资助。硕士研究生和博士研究生杨森、李冬敏、刘丽英、徐建、李宏强、丁文勇、邱卫华、彭小伟、靳胜英、孙付保、张志国、迟菲、于彬、王岚、韩业君、宋俊萍、代树华、王洪川、曾薇、翁媛媛、王玉美等在发酵工业原料炼制方面的研究工作是本书得以出版的重要前提。在书稿撰写过程中，付小果硕士参与第 2 章、第 3 章、第 6 章的撰写和汇总，贺芹博士参与第 1 章、第 5 章的撰写，冯权博士参与第 4 章和第 7 章的撰写。同时，本书的撰写参考了大量国内外前辈和同行们撰写的书籍和期刊论文资料，在此一并表示衷心的感谢。

书中有不当之处，诚请读者批评指正，并欢迎来函指导。

陈洪章

2011 年 12 月于北京市中关村北二条 1 号

中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室

E-mail: hzchen@home.ipe.ac.cn

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 发酵工业在国民经济发展中的作用	1
1.1.1 发酵工业产品类型	2
1.1.2 发酵工业发展历程	5
1.1.3 发酵工业发展现状	7
1.1.4 发酵工业发展趋势	10
1.2 发酵工业运行框架中的问题	12
1.2.1 发酵工业原料中粮食原料替代的问题	12
1.2.2 污染问题	13
1.2.3 原料的综合利用问题	16
1.3 发酵工业原料炼制思路的提出	17
1.4 发酵工业原料炼制原理	18
1.4.1 发酵工业原料组分分离	18
1.4.2 发酵工业原料的选择性结构拆分	18
1.5 发酵工业原料炼制发展现状	19
1.6 发酵工业原料炼制方向——生物过程工程挑战性课题	19
参考文献	21
第 2 章 发酵工业原料学	25
2.1 微生物代谢原料学概述	25
2.2 微生物代谢和发酵	26
2.2.1 微生物发酵	26
2.2.2 微生物代谢	29
2.3 微生物代谢原料	31
2.3.1 碳源	34
2.3.2 氮源	45
2.3.3 生长因子、前体物质、产物促进剂和抑制剂	48
2.3.4 水	52
2.3.5 微生物代谢原料的拓展	53
2.4 发酵工业原料特性	55
2.5 发酵工业原料的转变与替代	56

参考文献	58
第3章 发酵工业原料炼制原理	62
3.1 发酵工业原料炼制的提出	62
3.2 发酵工业原料预处理	63
3.2.1 发酵工业淀粉资源的提胚预处理	63
3.2.2 发酵工业糖类资源的提汁预处理	64
3.2.3 发酵工业木质纤维素资源的降解预处理	64
3.2.4 发酵工业固体垃圾资源的汽爆分选预处理	65
3.3 发酵工业原料组分分离	67
3.3.1 组分分离概念的提出	67
3.3.2 组分分离作用原理解析	67
3.3.3 淀粉类原料的组分分离	68
3.3.4 糖类原料的组分分离	69
3.3.5 木质纤维素类原料组分分离	69
3.3.6 废水、污泥、城市垃圾等废弃物的组分分离	71
3.4 发酵工业原料的选择性结构拆分	73
3.4.1 淀粉质原料的选择性结构拆分	74
3.4.2 糖类原料的选择性结构拆分	74
3.4.3 木质纤维素类原料的选择性结构拆分	74
3.4.4 废水、污泥、城市垃圾等废弃物的选择性结构拆分	75
参考文献	76
第4章 糖类原料炼制与发酵工业模式	79
4.1 糖类原料资源及分布	79
4.1.1 甘蔗资源	79
4.1.2 甜菜资源	83
4.1.3 糖蜜资源	86
4.1.4 甜高粱资源	87
4.2 发酵工业糖类资源糖的制备	90
4.2.1 糖制备工业发展历程	91
4.2.2 发酵工业糖类原料炼制关键技术	94
4.3 甜高粱原料的发酵工业炼制模式	103
4.3.1 发酵工业甜高粱资源炼制现状	104
4.3.2 甜高粱的储藏	105
4.3.3 发酵工业原料甜高粱生态产业炼制模式	108
参考文献	121
第5章 淀粉类原料炼制与发酵工业模式	125
5.1 发酵工业淀粉质原料资源及成分	125

5.1.1 粮谷类淀粉	126
5.1.2 薯类淀粉	137
5.1.3 非粮淀粉类资源	145
5.2 淀粉类原料的炼制	149
5.2.1 谷物淀粉的制备	150
5.2.2 薯类淀粉的制备	156
5.2.3 淀粉转化为可发酵糖	158
5.3 淀粉原料的高效分离	159
5.3.1 新的玉米组分分离方式的意义	159
5.3.2 汽爆技术对玉米组分分离的可行性	160
5.4 淀粉类原料的发酵工业炼制模式	161
5.4.1 玉米淀粉类原料的发酵工业炼制模式	161
5.4.2 葛根淀粉类原料的发酵工业炼制模式	176
参考文献	187
第6章 木质纤维素原料炼制与发酵工业模式	191
6.1 木质纤维素资源与分布	191
6.1.1 农作物秸秆资源	191
6.1.2 林业、薪柴资源	196
6.2 天然木质纤维素原料的主要成分	197
6.3 纤维素碳源	198
6.3.1 纤维素的化学结构	199
6.3.2 纤维素的物理结构	200
6.3.3 纤维素的理化性质	202
6.3.4 葡萄糖的全能性	205
6.3.5 纤维素葡萄糖的制备及其突破点	206
6.4 半纤维素碳源	207
6.4.1 半纤维素的化学结构	208
6.4.2 半纤维素的化学性质	210
6.4.3 木糖的全能性	211
6.4.4 半纤维木糖的制备及其突破点	212
6.5 木质纤维素糖平台	213
6.5.1 木质纤维素糖平台的构建	213
6.5.2 以木质纤维素糖为平台转化的产物	214
6.6 木质纤维素生物转化发酵抑制物产生及去除方法——抑制物作用 机制及其破解途径	216
6.6.1 木质纤维素生物转化抑制物的产生	216
6.6.2 木质纤维素生物转化抑制物的去除	218

6.7 木质纤维素生化转化发酵平台	228
6.7.1 发酵类型	228
6.7.2 发酵方式	229
6.8 木质纤维素生物转化后处理平台	233
6.8.1 发酵产物的预处理	233
6.8.2 发酵产物的纯化与精制	234
6.9 秸秆半纤维素发酵丁醇及其产业化炼制示范	237
6.9.1 木质纤维素发酵丁醇国外现状与发展趋势	237
6.9.2 生物丁醇工业发展的意义	241
6.9.3 木质纤维素原料转化丁醇的困境	242
6.9.4 秸秆发酵生物丁醇新技术及其产业化示范工程的提出与研发过程	242
6.9.5 秸秆半纤维素水解液发酵丁醇及木质素纤维素产业化炼制取得的主要 创新性成果	243
参考文献	246
第7章 废水与有机废弃物原料的发酵工业炼制模式	253
7.1 废水、污泥与垃圾资源的分布与成分	253
7.1.1 废水资源	253
7.1.2 污泥资源	259
7.1.3 城市有机垃圾资源	261
7.2 废水与有机废弃物的厌氧消化炼制技术	264
7.2.1 厌氧消化的基本原理	264
7.2.2 厌氧消化发展历程	267
7.2.3 厌氧消化的微生物	268
7.2.4 厌氧消化影响因素	269
7.2.5 厌氧消化工艺及其研究现状	273
7.3 国内外废水、污泥与垃圾资源的炼制现状	274
7.4 废水、污泥与垃圾资源的发酵工业炼制	277
7.4.1 废水、污泥与垃圾资源的发酵工业碳源炼制	277
7.4.2 废水、污泥与垃圾资源厌氧消化产沼气	279
7.4.3 发酵工业废水资源回用炼制	280
7.4.4 污泥、固体垃圾资源堆肥化发酵工业炼制	282
参考文献	289

第 1 章 绪 论

发酵工业是利用微生物的代谢活动经生物转化实现大宗产品的工业。现代化发酵工业的建立是近 10 年的事情，但古代劳动人民已经在自觉和不自觉地进行着发酵的生产和探讨。

我国是发酵工业的文明古国^[1]，甲骨文及钟鼎文字都有“酒”字，这说明 3000 多年前酿酒技术在我国就已经很发达。《战国策·魏策》上记载：“昔者，帝女令仪狄作酒而美，进之禹，禹饮而甘之……”，这讲述的是夏禹和酒的故事，即夏禹饮过仪狄酿的酒后，并没有从此陶醉于酒，而是清醒地预言“后世必有以酒亡其国者”，“遂疏仪狄而绝旨酒”。旨酒是一种较好的甜酒，这说明当时不仅能酿酒而且能酿较好的酒。此外，如酱油、食醋、酱菜等发酵食品都具有悠久的历史。20 世纪 60 年代后，新型发酵工业兴起，以谷氨酸为代表的氨基酸工业、以柠檬酸为代表的有机酸工业、以淀粉酶为代表的酶制剂工业等，加上酿酒工业和酵母制造工业，形成了我国相当规模的发酵工业体系，在国民经济生活中起到了至关重要的作用。

随着发酵工业产品品种的增加和生产规模的迅速扩张，发酵工业中废水、废渣污染的问题越来越突出，存在组分利用单一、提炼技术单一、耗水、耗能等问题，从而导致原料利用率低、环境污染，严重制约发酵工业自身的生存与发展。

本书通过深入分析发酵工业原料炼制的共性问题，结合多年生物质原料高值化炼制研究基础，提出了“发酵工业原料炼制”的理念，梳理了发酵工业原料炼制的科学原理，并系统阐述了淀粉类、糖类、木质纤维素类、有机废水以及城市生活垃圾等典型发酵原料的多组分分层多级炼制思路与发酵工业炼制模式，以期能对发酵工业原料炼制模式的改变与发展起到一定的推动作用。

1.1 发酵工业在国民经济发展中的作用

发酵工业主要可以划分为固态发酵和液态发酵。其中，固态发酵起源于我国^[1]，具有几千年的历史；而液态发酵虽然仅有近百年的历史，但是发展迅速，已经成为现代发酵工业的主体^[2]。

发酵工业是主要的生物技术产业化部门。随着生物技术向纵深发展，发酵工业将会演变成一个产品众多、门类齐全、技术先进的生物工业。20 世纪 60 年代以前，我国轻工、食品领域的发酵工业主要由酿酒和酿造产品组成，几十年来我

国的发酵工业取得了长足进步,随着现代生物技术的崛起,不仅对原有的酿酒和酿造工艺进行了技术改造,还不断开发出以现代生物技术为特征的新型发酵工业^[3~5],已突破传统的酿造和乙醇工业,其产品应用覆盖医药、卫生、轻工、化工、农业、能源、环保等诸多行业,发展出氨基酸、有机酸、酶制剂、抗生素、多元醇、酵母、维生素、功能性活性因子等一大批新兴产业。特别是基因工程和细胞工程等现代生物技术的发展与结合,人们通过细胞水平和分子水平改良或创建微生物新的菌种,使发酵工业的发酵水平大幅度地提高,发酵产品的种类和范围不断增加。至今,发酵工业已形成一个品种繁多、门类齐全、具有相当规模的独立工业体系,在国民经济中占有重要地位,某些产品如味精、柠檬酸年总产量已跃居世界首位^[6]。

1.1.1 发酵工业产品类型

发酵工业已经深入到国民经济的各个部门,我国的发酵工业已经为国内和国际市场提供了多种大宗产品,如调味品、高活性干酵母、淀粉和淀粉糖、有机酸、饲料添加剂等^[2,7]。此外,近10多年来发展成产业化生产的具有特种功能的发酵制品,如低聚糖类、真菌多糖类、糖醇类、活性肽类、微生物制剂以及生物防腐剂等,满足了不同人群的保健需求。其产品类型常见的有以下15种^[8]。

1) 酿酒

酿酒是人类利用微生物发酵最早的领域,是微生物工业的母体工业。目前,全世界饮料酒产量约2亿t,其商品产量和产值在微生物工业中均占首位。饮料酒以含糖原料(果汁、甘蔗汁、蜂蜜等)和淀粉质原料(米、麦、高粱、玉米、红薯、土豆等)经酿造加工而成,其中起重要作用的是霉菌和酵母,前者将淀粉转化成糖,后者将糖转化为乙醇。饮料酒分发酵酒和蒸馏酒两大类,发酵酒有啤酒、白酒、葡萄酒、黄酒等,蒸馏酒有白酒、白兰地、金酒等。

2) 发酵食品

发酵食品是人类很早以前利用微生物发酵的又一领域。天然食品经微生物(包括细菌、霉菌和酵母)适度发酵后,产生各种风味物质,使之味道更好,并有利于储存。根据功能的不同,发酵食品分为发酵主食品、发酵副食品、发酵调味品和发酵乳制品等。发酵主食品有面包、馒头、包子、发面饼等;发酵副食品有火腿、发酵香肠、豆腐乳、泡菜、咸菜等;发酵调味品有酱、酱油、食醋等;发酵乳制品有奶酒、干酪、酸奶等。

3) 有机酸

乙酸和乳酸的生产和利用,在人们认识微生物之前就开始了。饮料酒在有氧条件下自然放置可制成醋,牛奶酸败可制成酸奶。而有机酸工业,则是随着现代发酵技术的建立而逐渐形成的。

霉菌和细菌都具有生产有机酸的能力,其生产方法可分为两类:一类是以碳水化合物和碳氢化合物为原料的中间代谢产物发酵;另一类是以糖、糖醇、醇、有机酸等为原料的生物转化发酵。采用发酵法生产的有机酸主要有乙酸、丙酸、丙酮酸、乳酸、丁酸、延胡索酸、苹果酸、酒石酸、衣康酸、柠檬酸、异柠檬酸、葡萄糖酸、抗坏血酸、水杨酸、乙酰丙酸等。

4) 醇及有机溶剂

可用微生物发酵法生产的醇类和溶剂有乙醇、丙酮丁醇、异丙醇、甘油、丁二醇、二羟丙酮、甘露糖醇、阿拉伯糖醇、木糖醇等。

5) 酶制剂

酶是一种生物催化剂,它具有专一性强、催化效率高等特点,能在常温和低浓度下催化复杂的生化反应。没有酶,就没有生物体的一切生命活动。动物、植物、微生物都具有细胞原生质分泌的各种特异的酶,借以催化各种生化反应,并呈现各种生命现象。微生物发酵的过程都是在各种酶的催化作用下完成的。

中国酒曲是世界上最早的微生物粗酶制剂,其中含淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶和酒化酶等。19世纪末,日本人高峰让吉从米曲霉中提取到高峰淀粉酶,这是利用微生物生产酶制剂的开端。

生物界已发现的酶有数千种,用微生物发酵法生产的酶有上百种,主要有糖化酶、淀粉酶、异淀粉酶、转化酶、异构酶、纤维素酶^[9]、蛋白酶、脂肪酶等。

6) 氨基酸

氨基酸是构成蛋白质的基本化合物,也是营养学中极为重要的物质。自从20世纪50年代日本人木下祝郎成功地用发酵法获得谷氨酸以来,几乎所有的氨基酸均可用发酵法生产。目前,氨基酸中产量最大的为谷氨酸,其余产量较少,主要有赖氨酸、精氨酸、蛋氨酸、亮氨酸等^[10]。

7) 核酸类物质

核酸的单体是核苷酸,由含氮碱基、戊糖与磷酸三部分组成,若仅由前两部分组成则称为核苷。核苷的生产始于20世纪60年代,最早的产品是鲜味剂肌苷酸和鸟苷酸。此后,发现很多核酸类物质如肌苷、腺苷、三磷酸腺苷等具有特殊的疗效且用途在不断扩大,促进了核苷酸类物质的生产。

8) 抗生素

抗生素是由微生物产生的具有生理活性的物质,它不但可以抑制其他微生物的生长与代谢,有的还可以抑制癌细胞的生长,抑制抗血纤维蛋白溶酶作用。自1928年弗莱明发现青霉素以来,至今已发现的抗生素有6000余种,其中绝大多数来源于微生物,由微生物生产的医用抗生素已达上千种,如青霉素、链霉素、红霉素、土霉素等。

9) 生理活性物质

生理活性物质是指促进或抑制某些生化反应,使生物维持正常的生命活动的一类物质,如激素、赤霉素等。

10) 微生物菌体产品

微生物菌体产品是指发酵的目标产物是微生物本身。按用途不同,微生物菌体产品可分为以下 5 类:

(1) 活性干酵母,包括面包活性干酵母和酿酒活性干酵母。

(2) 活性乳酸菌制剂,它是直接食用的可用于改善人体肠道的微生物生态菌系。

(3) 食用和药用酵母,包括作为营养强化剂或添加剂的普通食用酵母、用于普通协助消化的药用酵母,以及具有特殊功效或治疗作用的富集酵母。

(4) 饲用单细胞蛋白,作为饲用蛋白质,其粗蛋白含量高达 80%。生产单细胞蛋白的原料非常广泛,包括糖质、淀粉质、纤维质以及工农业生产废弃物等可再生的资源,也可利用甲烷、甲醇、乙醇、乙酸和正烷烃等石油化工产品。

(5) 其他菌体产品,如食用菌、药用真菌、某些工业用粗酶制剂等。

11) 生物农药和生产增产剂

(1) 微生物杀虫剂,如病毒杀虫剂、细菌杀虫剂、真菌杀虫剂、动物杀虫剂等。

(2) 防治植物病害微生物,如细菌、放线菌、真菌等。

(3) 生物除草剂,如环己酰胺、双丙磷 A、谷氨酰胺合成酶等。

(4) 生物增产剂,如固氮菌、钾细菌、磷细菌、抗生素制剂等,作为农业生产的辅助肥料和抗菌增产剂等。

12) 生物能

乙醇是替代石油的可再生能源。甲烷是微生物利用有机废弃物厌氧发酵的产物。其他生物能有微生物产氢、微生物燃料电池以及藻类产油等。

13) 环境净化

自然界本身就存在碳和氮的循环,而微生物对生物物质的排泄及尸体的分解起重要的作用。利用生物技术处理生产和生活中的有机废弃物,加速分解过程的进行,对环境卫生做出很大的贡献。

(1) 厌氧处理。在厌氧条件下,微生物利用分解废弃物中的碳水化合物、蛋白质和脂肪等有机物质产生沼气,在治理环境的同时,获得一定的能量,另外发酵后的残渣还可作为肥料。

(2) 好氧处理。利用好氧性的微生物使有机物氧化,最终将有机物分解成二氧化碳和水。

(3) 特殊处理。利用微生物对某些有害物质,如酚、有机氮、有机磷等进行生物降解处理,消除或降低有害物质对人类环境的影响。

14) 微生物冶金工业

微生物冶金工业包括利用微生物探矿、冶金、石油脱硫等。

15) 医药产品发酵工业

医药产品发酵工业指利用微生物生产干扰素、白介素等。

1.1.2 发酵工业发展历程

几千年前,人们就利用发酵技术来生产产品,如白酒、黄酒等,当时人们并不知道微生物与发酵的关系,对发酵的原因根本不清楚,只是依靠口传心授,一代代地传授着这种发酵的工艺,这个时期可以被称为自然发酵时期。虽然这一时期没有形成大规模的发酵工业,但这些经验对后来微生物学的发展以及发酵工业的建立发挥了重要的作用。

随着显微镜的发明,人们认识到微生物的存在。到了19世纪中叶,巴斯德通过实验发现,原来乙醇发酵是由活的酵母引起的,其他的发酵也是各种微生物作用的结果,从而解开了微生物与发酵之间的关系,使人们对发酵的认识有了质的飞跃。

微生物纯种培养技术的发展开创了人为控制微生物的时代,促进了近代发酵工业的建立。人们通过应用人为控制技术改进发酵工程技术,发明了简便的密闭式发酵罐,初步建立了人工控制环境的发酵系统,使啤酒等生产的腐败现象大大减少,生产规模和发酵效率不断提高,逐渐由手工作坊向大型工业化生产转变。在此基础上,逐渐建立丙酮、丁醇、有机酸、酶制剂等工业,由此,20世纪初,近代发酵工业初步形成。

20世纪40~70年代是近代发酵工业全面发展时期。这一个时期的起始标志是青霉素工业的迅速发展,由此带动了一批微生物次级代谢产品和新的初级代谢产品的开发,开创了好氧发酵工业。

而对现代分子生物技术所获得的基因工程菌、细胞融合所得的“杂交”细胞以及动植物细胞或固定化细胞等的利用标志着发酵工业进入了现代发酵工业时代。

现代发酵工业迅猛发展,所涵盖的产品也从原来的抗生素、食品等几个方面渗透到人民生活的各方面,如医药、保健、农业、环境、能源、材料等。发酵工业是一种以高科技含量为特征的新型工业,近年来,特别是20世纪90年代以来,行业的迅速发展已经使其在食品工业中占有重要地位。发酵工业的迅速发展不仅带动了相关行业的发展,而且对节约粮食、增加食品花色品种、提高产品质量及改善环境等发挥了重要作用。

我国传统发酵历史悠久,在《黄帝内经·素问》、《汤液醪醴论篇》里,已有酿酒的记载。白酒的起源当在元朝以前,尚待考证。酱油的酿造当始自周朝。在

汉武帝时代开始有了关于葡萄酒的记载,距今已有 2000 多年的历史。现以常见的发酵产品为例简要介绍我国发酵工业的历史。

1) 白酒

中国的酿酒业,距今已有数千年的历史。白酒是我国特有的、具有悠久历史的传统酒种。1949 年,我国白酒的产量只有 10.8 万 t。1996 年,我国白酒产量达到历史高峰,总量达到 801.30 万 t。2011 年,我国白酒的产量为 102.42 亿 L,其中规模较大的有五粮液、茅台、泸州老窖、剑南春、汾酒、古井 6 家公司。

2) 黄酒

黄酒是我国最古老的酒种,早在夏、商、周三代就已经大量生产了,并流传至今,据史料记载已有 6000 年历史,目前年产量为 130 万 t 左右。

3) 啤酒

我国最早的啤酒厂于 1900 年在哈尔滨建成,1949 年全国啤酒产量仅 7000 余吨,1981 年增至 91 万 t,工厂 200 余家。经过近 20 年的竞争,中国啤酒业逐渐实现了行业内的系统整合。2011 年,山东啤酒产量 64.8 亿 L,同比增长 19.40%,占全国总产量的 13.22%。现在已形成青啤、燕京、华润“三强”鼎立的态势。

1903 年由英德商人合办的“青岛啤酒”,具有 100 多年的啤酒酿造历史,主要致力于高档啤酒的开发。青岛啤酒不仅在国内拥有众多的消费者,而且还销往国际市场,啤酒出口量超过全国出口的 50%,曾连续多次获得国内国际大奖。

地处北京的“燕京啤酒”,是中国啤酒行业的一匹黑马,1981 年在顺义县以 1 万 t 的年产量起步,到 2000 年增至 141 万 t,跃居全国第二,在北京市场的占有率为 85%,天津市场的占有率为 25%。2010 年,“燕京”商标商誉价值总计 245.23 亿元。

4) 葡萄酒

1892 年,华侨张弼士在烟台建立酿酒公司,这是我国第一个新型的葡萄酒酿造厂。目前,我国较大规模的葡萄酒工厂已有近 80 家。2010 年葡萄酒年产量约 69.83 万 t。年产万吨以上的有张裕、王朝、华夏、长城、新天酒业、柳河绿源、烟台威龙、烟台中粮等。上述 8 家公司占据约 60% 的市场份额,销售收入占整个行业的 70%~80%。

5) 酱油和醋

早在 3000 年前我国就已经掌握了酱油和醋的发酵工艺,但数千年来一直沿用传统固态发酵法,直到 20 世纪后才开始采用纯种培养技术生产,设备及酿造方法逐步实现了现代化。目前我国酱油和醋的年产量均居世界前列。

6) 酶制剂

我国的酶制剂始于 20 世纪 60 年代,1965 年第一个酶制剂工厂在无锡建立。

目前,酶制剂进入全新的发展阶段,向“高档次、高质量、高水平”方向发展,向专用酶制剂和特种复合酶制剂发展,向新的应用领域发展。酶制剂应用技术将成为发酵工业核心技术。

7) 柠檬酸

1965年前后,上海酵母厂首先采用深层发酵法,用薯干直接发酵生产柠檬酸。到2010年,全国柠檬酸年产能已达到100万t以上,占世界的70%左右,年产量达70余万t,占世界的65%左右,年出口量50万t,占世界贸易量的50%以上。

8) 微生物制药

1953年5月1日,我国第一家抗生素厂(即后来的上海第三制药厂)在上海青霉素实验所的基础上正式建厂投产,自此我国抗生素生产走上了工业化的道路,以生产青霉素为主。1958年,我国最大的抗生素工厂——华北制药厂亦正式投入生产。在国家产业政策的大力支持下,微生物制药领域发展迅速,我国正逐渐缩短与先进国家的差距,国产药品的不断开发和上市,打破了国外长期垄断中国临床用药的局面。

9) 味精

谷氨酸发酵研究成功后首先在上海投入生产。目前,年产味精万吨以上的工厂有17家。2010年,全国味精总产量215.6万t,规模较大的莲花味精集团2010年的销量达23.15万t。

10) 基因工程产品

我国已经成功开发了20余种基因工程药物和疫苗。世界上销售额排名前10位的基因工程药物和疫苗,我国已能生产8种。

11) 细胞工程产品

紫草、三七等植物细胞可在发酵罐中大规模培养。我国的传统中药涉及5000种左右植物,细胞培养是中药资源开发的一个重要方面。

数千年来由于科学技术进步缓慢,各种微生物工业也未能充分发展。由于历史的原因,我国直到20世纪中期才建立了一系列新的微生物工业。改革开放促进了社会经济和科学技术的迅速发展,发酵工业这门新兴产业得到了重视,自“六五”计划开始,发酵工业在中央和地方的科技发展计划中占了一定份额,经过几个五年计划的科技攻关,产、学、研的技术力量紧密结合,获得了一批重大科研成果,不仅使原有的传统工艺得到技术改造,还发展了一批具有现代生物技术特征的新产品,使发酵工业进入了一个新的发展阶段。

1.1.3 发酵工业发展现状

经过几十年的发展,发酵工业已形成一个完整的工业技术体系。发酵工业应

用面广, 涉及的行业多, 发酵工业的企业众多。据报道, 美国生物技术企业有 1200 多家, 西欧有 580 多家, 日本有 300 多家, 而且这个行业还在不断地扩大。

我国生物化工行业经过长期发展, 已有一定基础。特别是改革开放以后, 生物化工的发展进入了一个崭新的阶段。生物化工产品也涉及医药、保健、农药、食品与饲料、有机酸等各个方面。2006~2010 年, 我国发酵工业主要产品的总产量保持稳定增长, 平均年增长率为 15.3%, 显示出强大的活力, 2010 年发酵工业产品总产量达 1683 万 t, 同比增长 9.3%; 工业总产值达 1850 亿元, 同比增长 15.6%, 其中柠檬酸、酶制剂、淀粉糖、酵母、赖氨酸增幅均超过 14%。

我国发酵工业的巨大发展不仅在于产量的巨大提升, 更在于发酵技术和发酵工艺的巨大进步。当前发酵技术进步主要表现为: 技术经济指标有明显提高, 工艺技术有重大改进, 装备水平大大改善。发酵行业企业研发投入约占销售收入的 4.5%, 有的可高达 10% 以上, 获得的专利成果数量也逐年递增。从而带动行业的技术水平不断提高、技术装备日益先进、产品质量大幅提高。“十一五”期间, 我国发酵行业出口量持续增长, 国际竞争力显著提高。2006~2010 年, 发酵工业主要产品出口呈现稳定增长的态势, 主要产品出口总量年均增长率为 19.1%, 出口总额年均增长率为 20.7%。2010 年, 我国发酵行业主要产品出口总量约为 250 万 t, 出口总额约 25 亿美元。

1. 中国是发酵工业大国^[1]

中国是一个发酵工业大国, 主要表现在发酵规模和发酵产品种类上。

1) 生产规模大

我国的醋、酱油、啤酒等产量世界第一; 抗生素, 如青霉素等产量世界第一; 维生素 C、氨基酸(味精)、有机酸(如柠檬酸)等产量世界第一; 也就是说对于传统的发酵工业和大宗发酵产品而言, 我国的生产规模位于世界前列。

2) 产品种类多

我国的发酵工业产品丰富, 其中包括具有本国特色的发酵产品如黄酒等, 我国有 5000 多家发酵企业, 相关产业年产值超过 2 万亿元, 约占国民经济的 20%。

“十五”期间我国发酵工业产值比“九五”末增长 58.5%, 产品产量增长 102%, 出口创汇增长 67.5%。进入“十一五”以来, 在国家产业政策的指导下, 随着科技创新和技术进步的推进, 科技推广应用和产业化步伐的加快, 发酵产业产品空间进一步拓展、产业链不断延伸, 发展前景更加广阔。据统计, 2000~2008 年发酵产业产品产量从 260 万 t 增长到 1300 万 t 左右, 年均增长率达到 22.4%, 2008 年主要产品出口额约 34 亿美元, 同比增长 36.6%, 显示出