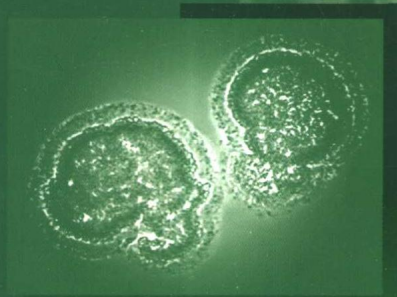


“十五”国家重点图书

现代生物技术丛书

微生物工程

焦瑞身 主编



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

“十五”国家重点图书

现代生物技术丛书

微生物工程

焦瑞身 主编

化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

微生物工程/焦瑞身主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.7
(现代生物技术丛书)

ISBN 7-5025-4100-4

I. 微… II. 焦… III. 微生物-生物工程 IV. TQ92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 096119 号

现代生物技术丛书

微 生 物 工 程

焦瑞身 主编

责任编辑: 孟 嘉 傅四周

责任校对: 郑 捷

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社
现代生物技术与医药科技出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 36¼ 字数 896 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4100-4/Q·31

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

“现代生物技术丛书”编委会

编委会主任 焦瑞身

编委会成员 (以姓氏汉语拼音为序)

郭礼和 中国科学院上海生物化学与细胞生物学研究所 研究员
贾士荣 中国农业科学院生物技术中心 研究员
焦瑞身 中国科学院上海植物生理生态研究所 研究员
伦世仪 江南大学 中国工程院院士 教授
俞俊棠 华东理工大学 教授
张树政 中国科学院微生物研究所 中国科学院院士 研究员
朱宝泉 上海医药工业研究院 研究员

本册主编与编写人员

主 编 焦瑞身

编写人员 (以姓氏汉语拼音为序)

陈远童 中国科学院微生物研究所 研究员
储 炬 华东理工大学生物工程学院 教授
范 瑾 江苏省微生物研究所 研究员
范长胜 复旦大学生命科学学院 副教授
范代娣 西北大学化工学院微生物系 教授
郭杰炎 复旦大学生命科学学院 教授
胡 军 上海新立医疗器械有限公司 高级工程师
还连栋 中国科学院微生物研究所 研究员
焦瑞身 中国科学院上海植物生理生态研究所 研究员
雷肇祖 上海新立工业微生物科技有限公司 教授级高级工程师
李 林 华中农业大学生命科学技术学院 副教授
李明春 南开大学生命科学学院微生物系 教授
李友荣 华东理工大学生物工程学院 教授
刘克鑫 中国科学院成都生物研究所 研究员
钱志良 上海新立工业微生物科技有限公司 高级工程师
乔宾福 大连珍奥生物工程研究所 教授级高级工程师
曲音波 山东大学生命科学学院 教授

孙 明	华中农业大学生命科学技术学院 教授
孙万儒	中国科学院微生物研究所 研究员
孙志浩	江南大学生物工程学院 教授
谭 红	中国科学院成都生物研究所 研究员
唐尔明	中国食品工业发酵研究院 教授级高级工程师
童海宝	上海化工研究院 教授级高级工程师
王 墙	江苏泰州市微生物生物化学制药厂 工程师
王以光	中国医学科学院医药生物技术研究所以 研究员
肖 敏	山东大学生命科学学院 教授
邢来君	南开大学生命科学学院微生物系 教授
徐 浩	中国科学院微生物研究所 研究员
徐亲民	河北科技大学生物工程系 教授
杨蕴刘	中国科学院上海植物生理生态研究所 研究员
叶 勤	华东理工大学生物工程学院 教授
尹光琳	中国科学院上海生物工程研究中心 研究员
喻子牛	华中农业大学生命科学技术学院 教授
张伟国	江南大学生物工程学院 教授
章克昌	江南大学生物工程学院 教授
赵 敏	江苏省微生物研究所 研究员
赵树杰	中国科学院成都生物研究所 研究员
赵毓橘	中国科学院上海植物生理生态研究所 研究员
郑裕国	浙江工业大学 教授
钟超平	上海市制药四厂 教授级高级工程师
周 坚	中国科学院微生物研究所 研究员
周德庆	复旦大学生命科学学院 教授
朱昌雄	中国农业科学院生物防治研究所 研究员
诸葛健	江南大学生物工程学院 教授

序

建立在分子生物学、分子遗传学、生物化学、微生物学、细胞学以及化工、计算技术等基础之上的现代生物技术(生物工程),是20世纪后半期国际上突飞猛进的技术领域之一,它为人类保健、农牧业、食品工业、环境保护以及精细化工等产业的发展提供了前所未有的动力。展望新世纪,可以预料生物技术的前景更为光辉灿烂。本丛书将就该领域的研究动态逐个进行详细介绍,这里我们仅概述其突出进展与读者分享。鉴于各领域发展迅速和编者水平有限,丛书定有遗漏和不足之处,敬请读者指正。

一、基因组和后基因组学

人类基因组计划(HGP)正式启动于1990年,这是一个跨世纪、跨国界的最伟大的生命科学工程,经美、英、法、德、日、中6国的合作和努力,已于2001年完成全部序列测定。这一成就可以与原子弹计划和登月计划相媲美。它将对生命科学和人类健康产生巨大影响。应用各种技术,上千个与疾病相关的基因已被定位,并有近百个疾病基因被克隆。毫无疑问,这将为新药研究设计和疫苗制备提供依据,且已有多个物质进入临床试验。

与此同时,小家鼠、果蝇、线虫、拟南芥、水稻、啤酒酵母,以及多种真菌、细菌的基因组研究相继开展,其中拟南芥基因组的全序列测定业已完成。由于微生物的基因组远小于多细胞真核生物,且细菌和酵母基因中不存在内含子,因而便于分析,迄今已在酵母基因组中发现了一些与人类疾病基因同源的基因,研究这些基因在酵母中的生理功能,将有助于了解相关疾病的发病机理。

今天,一个崭新的领域——生物信息学迅速发展,它将基因的结构、蛋白质功能以及物种的进化在基因信息的基础上统一起来。这一学科的发展,对基因组和后基因组学研究及对人类健康和农业发展将产生深远的影响。

二、基因工程(重组DNA技术)

体外DNA重组技术始于1972年,首先在大肠杆菌中获得成功,继而扩展到其他微生物,生产出了多种新型发酵产品。美国批准上市的基因工程产品有人类胰岛素、人类生长因子、白介素、干扰素、牛型生长激素疫苗等,并不断有新的品种进入临床应用。重组微生物的应用,也为高等生物作为表达外源基因的宿主提供了技术和经验,如哺乳动物细胞株、昆虫细胞株、转基因动物、转基因植物,都有可能作为生产需要糖基化的重组蛋白质的宿主。

我国基因工程研究起步较晚,自1986年“863”计划实施以来,生物技术药物的研究和产业化获得迅猛发展,至1998年已有14种基因工程药物、3个基因工程疫苗和数十个重组诊断试剂投放市场。

三、转基因作物及其他农业生物工程

农业生物技术中最重要的是转基因作物 (GMC)。近十年间 GMC 发展速度极快, 1996~2001 年全球 GMC 的种植面积增长了 30 倍。2000 年达 4 420 万公顷, 比 1999 年增长 11%, 2001 年又在 2000 年的基础上增长 19%, 达 5 260 万公顷。GMC 种植面积占相关作物全球种植面积的比例依次为: 大豆 46%、棉花 20%、油菜 11%、玉米 7%。

我国 GMC 的种植面积在 13 个国家中居第四位。国产转基因 Bt 抗虫棉的育成和推广, 开创了国内基因工程农业应用的成功范例, 仅 2001 年种植面积达 60 万公顷。抗虫棉的杀虫性强, 农药用量可减少 70%~80%, 既降低了用工成本, 又保护了环境。

继获得第一代 GMC (抗除草剂、抗虫、抗病等) 之后, 第二代转基因作物已呼之欲出, 重点是进一步改良作物品质, 提高其营养水平 (如“金稻米”等), 或以植物作为生物反应器生产医疗保健产品 (如口服疫苗等)。同时, 针对旱、涝、盐碱、低温等恶劣自然环境, 培育各类抗逆作物。

此外重组根瘤菌、重组联合固氮菌, 抗病杀虫重组微生物的开发和应用也取得了明显的成效。

四、克隆动物及转基因动物

动物体细胞克隆技术的发展为生产蛋白质类药物、器官移植、挽救珍稀濒危动物以及培育优良品种等奠定了基础。最近, Wilmut 等用山羊胚胎的核转入去核未受精的卵母细胞, 产生了克隆动物——Dolly 羊, 成为科学上的重大突破, 并在多种动物中得到重复。

转基因动物的成功引导了一种新型制药工业, 即利用转基因山羊、绵羊和乳牛的乳汁来生产治疗人类疾病的蛋白类药物。转基因动物发展的另一动向是克隆修饰的猪, 为人体器官移植提供外源器官, 以缓解临床上对人体器官的迫切需求。

体细胞克隆山羊在我国的上海市转基因研究中心及陕西的中国杨凌克隆动物基地都获得了成功。

五、细胞工程和组织工程

多年来我国植物组织培养和细胞工程研究在国际上是领先的。我国学者通过花药和花粉单细胞培养培育出烟草、水稻、小麦、大麦、油菜、甘蔗等作物的新品种、新品系, 种植面积逾 100 万公顷。脱病毒快速繁殖的主要作物有香蕉、马铃薯、甘蔗、木薯、香草兰、草莓、柑橘、苹果、葡萄、花卉和观赏植物。紫草、三七等植物细胞已可在发酵罐中大量培养。我国的传统中药涉及 5 000 种左右植物, 细胞培养是中药资源开发的一个重要方面。

我国学者在动物细胞工程方面也作出了重要贡献。例如亲缘关系远近不同的鱼类可进行各种核质组合, 在变种间、属间及科间都获得了具有独特性状的

核质重组鱼。

动物发育工程中另一重大进展是干细胞株的建立，这已成为国际上研究的热点。干细胞是指未充分分化、但具有再生为各种组织器官和个体潜在功能的细胞。血液干细胞能够分化、生成整个血液系统，用造血干细胞移植来治疗白血病和一些遗传血液病，是医学界正在探索的课题。最近，以色列科学家首次从胚胎干细胞培养出人类心脏组织，它可以正常跳动，并且有新生心脏组织的电特性和机械特性。波兰科学家用脐血干细胞成功地培育出了脑细胞，有可能被用于帕金森病、脑震荡等疾病的治疗和脑部损伤的修复。美国科学家最近成功地将胚胎干细胞分化成人类骨髓中的造血先驱细胞，并进一步培养成红细胞、白血球和血小板。这些结果预示着人类有可能获得取之不尽的血源。我国科学家已成功地将干细胞体外培养成胃和肠黏膜组织，这是继利用干细胞原位培养皮肤组织全能修复之后，人类再生组织器官方面的又一重大成果。

六、环境生物工程

我国是环境污染较严重的国家，环境生物工程在防治各种污染中将起重要作用。众所周知，油轮海上倾油可引起大面积海域污染，国外虽采用“超级细菌”（含有多个降解烃类的质粒）进行海面浮油处理，但其效果尚有待改进。化学农药对土壤的污染虽可用具专一性降解能力的特种细菌处理，但作用也甚缓慢。相对而言，较为先进的方法是采用可被降解的生物农药。此外，河流、湖泊水域的污染防治、酸雨危害以及城市垃圾的处理等，也都是亟待解决的问题。

七、酶工程

酶工程是现代生物技术的重要组成部分，其特点是利用酶、含酶细胞器或细胞（微生物、植物、动物）作为生物催化剂来完成某些重要的化学反应。应用范围包括医药、食品、化学工业，诊断分析和生物传感器等。涉及的品种不少，诸如糖化酶、淀粉酶、洗涤用酶以及与 β -内酰胺抗生素生产有关的青霉素酰化酶、7-ACA酰化酶等，其市场需求、生产规模和产值均很可观，并已产生巨大的经济效益。随着酶的大量应用，各种酶反应器和固定化技术应运而生，更进一步地推动了酶工程的发展。

当代酶工程发展的趋势之一是寻找耐极端条件的酶，如耐高温、耐酸碱、耐盐等。这些酶存在于嗜高温、嗜酸碱、嗜高盐的细菌中。近年来对这些细菌的研究进展迅速，这将为酶工业提供源源不断的新型酶类。

八、新型能源和清洁能源的开拓

随着化石能源逐年减少，再生能源的研制开发已备受国际关注。虽然我国石油和煤炭储量丰富，但从长远考虑，还需对这一课题予以重视。展望未来，新型能源，特别是清洁能源的开发很有必要。

氢气是无污染的清洁能源，燃烧后不产生二氧化碳、硫、氮氧化物等有害物质，国外的燃氢汽车已研制成功。产氢的微生物甚多，值得重视的是光合细

菌，该菌可利用工业废水产氢，同时具有农用肥效的作用。

巴西和美国是燃料乙醇生产技术和商业应用比较成熟的国家。作物秸秆、废报纸等生物材料是生产再生能源的最廉价原料，所生产的燃料乙醇成本可低到每加仑 1.10 美元，虽然仍高于每加仑 0.80~0.90 美元的汽油批发价，但随着技术的改进，生产成本将会逐步降低。

九、新型生物传感器的研制

要研制新型生物传感器，需要新型的酶和生物材料，这些酶需能耐高温、酸、碱或低温。已发现的这类特殊生物材料有嗜盐细菌的紫膜，这是一种光敏材料，可转化光子为 ATP。另一个例子是磁细菌细胞中的微小磁石 (Fe_3O_4)，对细胞起导航作用。当代正竞相研制 DNA 芯片，以色列学者已用其建成简单的计算机。

生物传感器应用范围广泛，包括临床检测、免疫反应、反应罐过程检测、环保毒物检测等，不胜枚举。

十、生化工程

包括发酵工艺、过程检测与控制、反应模型建立、反应器的设计和应用，以及包括产品提取纯化、包装在内的下游加工工艺等方面，这是生物技术产业化的最后重要过程。

本丛书以应用生物技术为主，包括必要的基础知识和前景展望。丛书包括 15 个分册，即基因工程、蛋白质工程、酶工程、生物信息学、植物细胞工程、动物细胞工程、微生物工程、生物制药技术、高级生物传感器、环境生物工程、农业生物工程、糖生物工程、生物技术与疾病诊断——兼论基因治疗、组织工程、生物工程下游技术。

每册均由工作在第一线的专家撰写，概要阐述了国内外生物技术的进展和趋势。期望本丛书的出版能够对推动我国生物技术的研究开发及产业化作出微薄的贡献。

编者衷心寄语青年朋友，认识生物技术的光辉前景，祝愿你们以聪明才智为我国的生物技术作出创新贡献。

焦瑞身 曾士学

2002 年 1 月

前 言

从生物工程（生物技术）的发展过程，我们可以看到微生物工程一直在起着带头作用。远在 20 世纪 40 年代抗生素生产兴起时，为了解决深层通气发酵新工艺，人们必须对培养基灭菌、空气过滤、混合搅拌等单元操作，进行设计、放大、检测等研究，这就促成生化工程的诞生。后来，在产物的分离、纯化方面出现各式各样的分离介质、层析技术等，所谓后加工工艺，这是生物技术产业化的最后工序。

生物工程的通用技术——基因工程，在 20 世纪 70 年代首先在大肠杆菌中获得成功，随后扩展到多种细菌、酵母、霉菌以及动植物细胞，为转基因植物和转基因动物提供基础和经验。实际上，基因工程的产物是工程化的微生物菌株和细胞株，要获得产物，诸如干扰素、生长激素等，都须经过微生物发酵工程。

目前，已知的微生物代谢产物为数巨大，仅就次生代谢产物的抗生素而言，已超过一万个。这些产物都是从土壤、水域等自然环境分离培养的微生物获得；而这些已知的微生物仅是自然界存在的微生物的少数，所谓“冰山一角”。生态学家已证实目前已知的微生物不过是自然界存在的 1%，甚至更低。百分之一的微生物已经为人类提供了这么多对人类保健、农业、化工、食品行业的有用产品；99% 的微生物的基因组开拓出来的局面又将是怎样的？很明显微生物工程的前景是十分光辉灿烂的。

略如上述，“现代生物技术丛书”自然少不了《微生物工程》这一分册。本分册包括下列 5 篇：

1. 通论
2. 初级代谢产物
3. 次级代谢产物
4. 微生物转化产物
5. 功能食品、食品添加剂与饲料添加剂

每一章节的撰稿人都是工作在第一线的专家，本书展现了当代微生物工程各方面的国内外现状。对有发展前景、但尚待进一步研究的题目，我们也扼要介绍，希望对青年读者选择科研课题有所帮助。在食品添加剂方面，我们选择了微生物发酵产物及其新的进展。

本书难免有遗漏和不足之处，敬请读者不吝指出，以便再版时加以修正和补充。

为编者提供资料的 A.L. Demain 教授和方霭琪博士，协助编者组织专家撰稿的孙志浩教授和雷肇祖高级工程师，对编者给予支持和鼓励的杨蕴刘教授、姜卫红教授和关颖谦教授，编者致以衷心的感谢。在撰写中受到本所马伟、沈美娟和李金娣同志的支持，一并深致感谢。

焦瑞身

2002 年 5 月

内 容 提 要

“现代生物技术丛书”是化学工业出版社重点策划、隆重推出的一套精品图书，已被国家新闻出版总署列为“十五”国家重点图书。该套书由我国著名生物技术专家焦瑞身先生担任编委会主任，各相关领域科研、教学、产业一线具有权威性的专家学者共同撰写。

《微生物工程》由焦瑞身先生亲自提纲主编，组织了微生物技术涉及的各产品领域的权威学者共同完成。本书以微生物代谢为线，将微生物的代谢产物按照初级代谢产物、次级代谢产物、转化产物的思路进行分类，对每一产物的基本性质、菌种筛选和改良、发酵工艺和代谢调控、中试生产放大、产品分离提纯进行了详尽的介绍，重点阐述了微生物菌种改造以及微生物代谢工程等近年来发展很快、对传统微生物技术影响很大的新技术领域。

微生物技术已经越来越多地涉及人类生产和生活的方方面面，医药、农业、环保、化学化工、食品、材料等领域中的科研人员，相关专业的大专院校师生均能以本书为参考。

目 录

第一篇 通 论

第一章 微生物的多样性和微生物资源的开拓 (焦瑞身)	1
第一节 微生物的多样性	1
一、微生物的生境	1
二、多样性的广度	1
三、原核生物是未曾观察到的多数	1
四、活的但不能培养的微生物	2
五、已知菌种来源和菌种保藏中心	3
第二节 改进分离培养方法和寻找新类型微生物及其产物	4
一、新类型微生物的分离	4
二、富集培养	6
三、代谢产物的筛选	7
第三节 生境中微生物基因组 DNA 的开拓	9
一、从土壤和水样提取 DNA 及多样性研究	9
二、土壤微生物 DNA 的文库构建	10
三、关于靛红素	10
参考文献	11
第二章 微生物工程的发展与趋向 (焦瑞身)	13
第一节 微生物工程发展中的几个里程碑	13
一、抗生素工业生产带动了生化工程的建立	13
二、生物转化的兴起	13
三、微生物发酵生产氨基酸	13
四、固定化技术	13
五、蛋白酶抑制剂以及其他酶抑制剂	14
六、基因工程 (重组 DNA) 技术	14
第二节 微生物代谢产物的类型和生产概况	15
一、微生物代谢产物的类型	15
二、微生物代谢产物生产概况	16
第三节 微生物工程面临的形势	19
一、微生物工程与合成化学工业的竞争	19
二、农业生物工程对微生物工程与化学工业的冲击	19
第四节 微生物工程发展的趋向	20
一、提高现有微生物发酵工业水平	20

二、利用重组 DNA 技术	20
三、开拓极端酶	22
参考文献	24
第三章 近代发酵技术 (储炬 李友荣)	25
第一节 分批发酵	25
一、分批发酵的理论基础	25
二、分批发酵的优缺点	26
第二节 补料-分批发酵	26
第三节 半连续发酵	27
第四节 连续发酵	27
一、连续发酵的理论基础	27
二、连续培养在工业生产中的应用	28
三、连续培养中存在的问题	28
第五节 高细胞密度培养	29
一、达到高细胞密度的手段	30
二、高细胞密度培养存在的问题	31
三、高细胞密度培养的进展与前景	31
第六节 影响发酵的因素及其控制	32
一、培养基	32
二、灭菌情况	33
三、种子质量	34
四、温度	34
五、pH	35
六、氧的供需	35
七、二氧化碳	37
八、呼吸商与发酵的关系	37
九、补料对发酵的影响及其控制	38
第七节 发酵终点的判断	40
一、发酵终点的判断	40
二、自溶的监测	41
三、影响自溶的因素	41
第八节 发酵控制技术的概况与进展	42
一、发酵过程的控制特性	42
二、在线发酵仪器的研究进展	42
三、计算机在发酵监控方面的应用	44
参考文献	45
第四章 通气与放大 (范代娣)	47
第一节 放大技术概述	47
一、放大相关的参数及放大准则	47
二、常规放大进程	47

三、氧的供给在放大进程中的重要作用	48
四、改善供氧条件的新措施	50
五、放大技术研究现状	51
第二节 从摇瓶取得发酵罐放大有用参数的方法及原理	52
一、非发酵情况下参数测定原理及方法	52
二、实际发酵情况下摇瓶内发酵工艺及工程参数的测定	57
第三节 以摇瓶取得数据为依据进行发酵过程和发酵罐放大	59
一、尾气处理系统流程框图	59
二、发酵罐内菌体摄氧率 (OUR)、二氧化碳释放率 (CER)、呼吸商 (RQ)、 氧传递系数 (K_La) 及呼吸强度 (Q_{O_2}) 的计算	59
三、放大结果对比	61
第四节 从小型发酵罐到大型发酵罐的放大	64
一、发酵罐几何尺寸放大	64
二、空气流量的放大	64
三、搅拌功率及搅拌转速的放大	66
参考文献	68

第二篇 初级代谢产物

第五章 氨基酸代谢工程 (张伟国)	69
第一节 总论	69
一、概述	69
二、氨基酸的应用与市场	69
三、氨基酸的生产方法	70
第二节 谷氨酸	71
一、菌种	71
二、机理	71
三、工艺	73
四、发展趋势	76
第三节 L-赖氨酸	76
一、菌种	77
二、机理	78
第四节 L-苏氨酸	80
一、菌种	81
二、机理	81
第五节 L-苯丙氨酸	83
一、菌种	83
二、机理	84
第六节 L-异亮氨酸、L-缬氨酸和 L-亮氨酸	85
一、菌种	85
二、机理	86

第七节 L-谷氨酰胺	88
一、菌种	88
二、机理	88
第八节 L-脯氨酸	88
一、菌种	88
二、机理	89
第九节 L-精氨酸	89
一、菌种	89
二、机理	89
参考文献	91
第六章 有机酸	94
第一节 柠檬酸 (郭杰炎)	94
一、柠檬酸的生物合成与调节	95
二、柠檬酸发酵的生产菌种	97
三、柠檬酸的发酵生产	99
四、柠檬酸的提取工艺	104
第二节 乳酸 (钱志良 胡军 雷肇祖)	106
一、乳酸的物理化学性质	107
二、乳酸的工业化生产	109
三、乳酸的产品市场发展趋势	125
第三节 衣康酸 (唐尔明)	126
一、引言	126
二、物理性质	126
三、化学性质	127
四、生产方法	128
五、毒性和包装运输	131
六、进展	131
第四节 琥珀酸 (焦瑞身)	132
一、琥珀酸产生菌	132
二、高产琥珀酸细菌的生理学	132
三、琥珀酸的回收	132
四、发酵琥珀酸应用前景	133
参考文献	133
第七章 有机溶剂	136
第一节 酒精 (章克昌)	136
一、酒精的生产原料	136
二、酒精生产中常用微生物和酶制剂	136
三、淀粉质原料酒精生产工艺	137
四、糖质原料酒精生产工艺	141
五、纤维素原料酒精生产工艺	143

六、酒精废液综合利用和污染防治	146
七、代谢工程对酒精生产的影响	147
第二节 丙酮和丁醇(孙志浩 焦瑞身)	148
一、丙酮、丁醇生产中常用的微生物	148
二、丙酮-丁醇的发酵机理	150
三、丙酮-丁醇的生产工艺	151
四、丙酮-丁醇的应用	154
五、展望	154
第三节 丙三醇(诸葛健)	156
一、丙三醇的物理性质和化学性质	156
二、丙三醇的用途、需求及生产方法	157
三、微生物发酵法生产丙三醇	159
参考文献	164
第八章 核苷类物质(乔宾福)	166
第一节 发酵法生产天然结构型的核苷类物质	167
一、肌苷	167
二、鸟苷	170
三、腺苷	171
四、黄苷	174
五、胞苷	174
六、尿苷	179
第二节 从核糖核酸化学水解法生产自然结构型核苷	184
一、RNA 水解和核苷分离操作	184
二、核苷的纯度分析	185
三、甲酰胺水解法制备核苷的收率	186
第三节 主要的核苷类结构改造化合物	186
一、核苷磷酸化酶用于制备抗病毒核苷	187
二、酶-化学法合成双脱氧核苷	190
三、酶-化学法合成 5'-碘脱氧尿苷	191
参考文献	191
第九章 维生素	192
第一节 概述(焦瑞身)	192
一、维生素的界定	192
二、维生素的分类与功能	192
三、维生素的来源与生产	193
四、维生素的国际市场	193
第二节 核黄素的生物合成(焦瑞身)	194
一、引言	194
二、核黄素工业生产的发展	194
三、核黄素生物合成途径	194

四、国内对核黄素合成的生理研究和生产应用	194
五、三种核黄素发酵菌种代谢模式的比较	194
六、展望	197
第三节 维生素 B ₁₂ 的生物合成 (徐亲民)	198
一、维生素 B ₁₂ 的发现和发展历史	198
二、维生素 B ₁₂ 在自然界中的存在及人和动物的需要	200
三、维生素 B ₁₂ 的理化性质	201
四、维生素 B ₁₂ 的生物合成	201
五、维生素 B ₁₂ 的工业生产	204
六、维生素 B ₁₂ 的检验方法	206
第四节 维生素 C 生物合成 (尹光琳)	208
一、概述	208
二、维生素 C 生产工艺和各工序技术指标	210
三、维生素 C 生产所用菌种和工艺特色	212
四、维生素 C “二步发酵法”新工艺在生产中的应用	215
五、维生素 C 的生物合成研究新进展	216
六、展望	220
第五节 生物素的生物合成 (焦瑞身)	221
一、引言	221
二、生物合成途径	221
三、生物素合成基因的研究	222
四、微生物生产生物素的研究	222
第六节 胡萝卜素的生物合成	223
一、胡萝卜素生物合成的基因工程 (焦瑞身)	223
二、 β -胡萝卜素 (童海宝)	227
三、虾青素 (郑裕国)	235
参考文献	241
第十章 再生能源	244
第一节 生物质转化可再生能源 (曲音波)	244
一、燃料乙醇	244
二、植物木质纤维素资源	245
三、纤维素糖化发酵生产酒精工艺	246
四、生物质气化/发酵产乙醇技术	253
第二节 沼气 (刘克鑫)	254
一、沼气发酵的微生物过程	254
二、复杂有机物的厌氧降解	255
三、沼气发酵微生物	255
四、沼气发酵工艺	257
五、沼气发酵装置	262
参考文献	268