

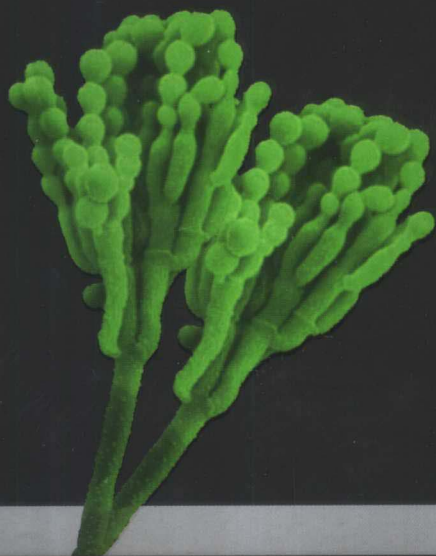


现代微生物技术丛书

资源环境微生物技术

高培基 许平 主编

Biomass



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

现代微生物技术丛书

资源环境微生物技术

高培基 许 平 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

资源环境微生物技术/高培基, 许平主编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 8
(现代微生物技术丛书)
ISBN 7-5025-5645-1

I. 资… II. ①高…②许… III. 微生物学-应用-
自然资源-资源利用 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 061038 号

现代微生物技术丛书

资源环境微生物技术

高培基 许平 主编

责任编辑: 孟嘉 周旭

文字编辑: 周倜

责任校对: 顾淑云 李军

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行

现代生物技术与医药科技出版中心

(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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 23¼ 字数 432 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5645-1/Q·103

定 价: 48.00 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

《现代微生物技术丛书》编委会

编委会主任 曲音波

编委会成员 (以姓氏汉语拼音为序)

高培基	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
吉爱国	山东大学威海分校海洋生物工程系	教授
孔 健	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
李越中	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
曲音波	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
宋 欣	山东大学微生物技术国家重点实验室	副教授
汪天虹	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
肖 敏	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
许 平	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授

本书编写人员

主 编 高培基 许 平

编 写 人 员 (以姓氏汉语拼音为序)

蔡晓凤	陈冠军	陈 净	董 涛
窦 萌	冯进辉	高培基	黄 峰
李福利	李 力	卢雪梅	马翠卿
孟 玲	曲音波	王潇杉	许 平
杨素萍	于 波	张玉臻	赵 建
郑 媛			

序

生命科学和生物技术是 21 世纪科学技术发展的前沿学科。微生物技术作为其中的主要分支,是生命科学和生物技术发展的重要基础和先导。特别是在解决 21 世纪人类面临的人口健康、资源紧缺、环境污染、粮食危机、生态破坏等严峻挑战方面,微生物技术具有无可替代的重要作用。

其中,资源和环境问题是人类在 21 世纪面临的最主要的挑战。生物质资源是可再生性资源,地球上每年光合作用的产物高达 1500~2000 亿吨,是人类社会赖以生存的基本物质来源,其中 90% 以上为木质纤维素类物质。目前这部分资源尚未得到充分的开发利用。随着世界人口迅速增长和矿产资源日渐枯竭,开发高效转化木质纤维素类可再生资源的微生物技术,利用工农业废弃物等发酵生产人类急需的燃料、饲料及化工产品,具有极其重要的意义和发展前景。微生物技术除在生物质资源开发方面大有作为外,在难开采矿产资源(如二次采油后的低产油井、低品位金属矿石和尾矿、海水中的重金属等)的开发、环境污染(废水、废气和废渣)治理、清洁生产工艺(全封闭、无排放、低能耗工艺)研究、环境友好产品(生物可降解塑料、生物农药、生物肥料、氢能源等)研制等方面都有非常巨大的潜力。我国在纤维素微生物降解、化能自养细菌、石油降解微生物的基础研究,以及生物可降解塑料、生物农药生产等方面都有相当的研究和开发应用基础。随着国家对资源、环境、生态等问题的日益重视,可持续发展战略已被提到与科教兴国战略并列的重要位置。微生物技术工作者对此责无旁贷,有必要投入更多的人力物力,开展关系国计民生长远发展的战略性研究,同时培养和造就一大批优秀的微生物技术人才,为将来实现可持续发展做出应有的贡献。

微生物的应用研究对微生物菌株提出了众多的要求,单靠从自然界中筛选和对菌种随机诱变选育是难以实现上述目标的。研究和开发新的分子生物技术,有目的地改造乃至创造新的生物功能,是开发微生物应用新技术的必要前提。中国开展基因工程等现代分子生物技术研究已有二十余年的历史,在极端嗜酸化能自养菌——氧化硫硫杆菌的基因转移系统构建和抗砷漫矿工程菌选育等方面取得过处于国际领先地位的研究成果。近年来,通过加强国际交流与合作,逐步开展了酵母菌和丝状真菌的分子生物技术研究,包括酿酒酵母木糖发酵代谢工程菌构建、构建丝状真菌高效表达载体、利用定向进化技术提高酶的比活力或改善酶学性质(如耐碱、低温下高活性)等研究工作。今后的主要目标应是围绕生物质资源开发、环境污染治理等应用研究的需要,加强高效表达系统构建、代谢途径工程、蛋白质定向进化、高效筛选系统建立等方面的研究,既为技术研究提供优良的工程菌株,又为微生物

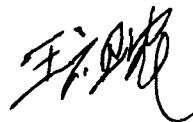
菌株的分子生物技术改造探索新方法新思路。

微生物技术的开发仅有优良的菌株还不够，还要研究如何使菌株的生产性能得以充分的发挥。传统的生物科学研究以观察描述为主要研究，酒精发酵和酿造工业虽然早已进入规模化生产，但现代工业技术的应用还较少。20世纪40年代以来，抗生素和氨基酸工业的崛起，使化学工程技术应用于微生物的大规模培养，促进了现代工业微生物技术的建立。而以基因克隆为代表的分子生物学技术的建立进一步促进了生命科学技术快速发展，并在生物制药规模化生产中的应用初现端倪。随着越来越多的生化工程工作者参与到微生物技术的开发研究中来，数量生理学、代谢网络控制理论、代谢流量分布分析、生物过程动力学模型构建、模糊控制和神经网络控制、新型生物反应器开发等研究都得到了飞跃发展。中国逐步建立起了自己的生化工程研究队伍。通过同微生物学专业研究人员的紧密配合，这支年轻的研究队伍已逐步成熟起来，研究活动十分活跃。今后该方向应侧重于开展代谢过程调控的研究，应用代谢流分布分析和代谢网络控制理论，开展代谢系统工程研究，在提高发酵产品的产率和生产速率的同时，努力探索代谢调控的一般规律，为其他发酵工艺的开发提供理论指导。

微生物的生理代谢机能多种多样，目前发酵工业中得到应用的仅是其中一小部分，特别是微生物的次生代谢产物还很少被利用。近年来，基因工程、细胞工程、生化工程等技术的迅猛发展，为人们创造生物新机能，开发发酵新菌种、新工艺、新产品提供了新的可能。绿色化学的兴起、可持续发展战略和循环型社会构建任务的提出，则使可再生性生物质（能）的转化和利用得到高度重视和广泛应用。

本套丛书包括《微生物技术开发原理》、《微生物分子育种原理与技术》、《资源环境微生物技术》、《药物微生物技术》、《微生物酶转化技术》、《农业微生物技术》6个分册，均由在微生物技术国家重点实验室第一线的研究者撰写。丛书概括了上述发展背景，从理论与实践相结合的角度，侧重介绍最新的研究进展和可能的应用技术，通俗易懂，可为广大生物、化学化工、农业及环境资源各学科和行业的工程技术人员参考。

期望本丛书的出版能为推动我国微生物技术的研究开发和产业化做出微薄的贡献。



2004年1月

前 言

传统的生物科学研究以观察描述为主要内容,显微观察及绘图、摄影成为其主要的研究技术。酒精发酵和酿造工业虽然早已进入规模化生产,但其对现代工业技术的应用很少。

20 世纪 40 年代以来,抗生素和氨基酸工业的崛起,使化学工程技术得以应用于微生物的大规模培养,促进了现代工业微生物技术的建立。而以基因克隆为代表的分子生物学技术的建立,则进一步促进了生命科学技术的快速发展,它在生物制药生产中的应用也初现端倪。

绿色化学的兴起,循环生产技术和可持续发展战略的提出,使可再生性生物质能转化和利用的研究受到高度重视和广泛应用。

在 21 世纪,生物质能前景虽然广阔,但实际应用还取决于生物质的各种转化利用技术能否发挥作用,要实现这一目标尚需加强研究与推广工作。要使生物质的技术走向实际应用并发挥效益,还存在研究、开发、推广等许多问题,从生物技术角度来看这些问题主要是:

- 实现木质纤维材料生物降解的全转化利用技术,目前生物质通过生物途径转化的最主要障碍是木质素的生物降解十分缓慢,机理不清;
- 利用有机废水的微生物发酵制氢研究,包括菌种(光合产氢和化能产氢)优化、选育、工艺和装置研究等;
- 沼气发酵残留物利用的机理揭示,残留物中生物活性物质的研究与开发。

我国年产生物质总量近 50 亿吨(干重),含有的潜能相当于 20 亿吨石油,为我国当前一次性能源耗量的 3 倍。其中秸秆等约 5 亿~6 亿吨,约合 3.5 亿吨标准煤。此外,几丁质在天然聚合物中的储量仅次于纤维素,是地球上第二大生物资源。这些物质通常需要通过生物转化途径而成为可被利用的资源,已经存在的生产利用方式也将通过对资源环境微生物研究的深入而加以改变,如近年来通过绿色生物纤维加工技术进行生物制浆、生物漂白、纤维酶法改性、废纸酶法脱墨等。

生物质能应用技术的研究开发,在现阶段主要是从生态环境、环境保护的角度出发,从中长期来看,将会弥补资源有限性的不足。因此,生物质能源的开发利用,其社会效益远远大于经济效益。在当前发展阶段,需要国家的政策扶持和财力支撑。应制定相关政策,鼓励和支持企业投资生物质能源开发项目。

可再生能源是 21 世纪的主要能源,具有巨大的开发潜力,由于技术和经

济的原因,以及可再生能源分布较为分散、能量密度低等特点,它在整个能源体系中的作用受到一定限制,目前其利用率尚不高,在全球能源消耗总量中还很小。但是其潜力仍然给了我们巨大的吸引力。

利用某些微生物或其代谢产物进行微生物冶金、微生物脱硫、微生物石油资源开采和精炼等,是目前矿物工程学、油藏地质学、石油开采工艺、油田化学等学科中发展最快且研究最为活跃的领域之一。利用资源环境微生物技术进行环境友好产品的生产,如可降解生物塑料、生物农药,进行难降解化合物污染的处理和生物修复,如生物脱氮、固体废弃物的生物处理、化学农药的生物降解等,日益引起各国政府部门和环境科学研究者的关注,虽然受微生物对污染物特别是难降解污染物的降解能力所限,生物修复技术具有修复周期长的明显缺点,但微生物丰富的生物多样性决定了其代谢类型与污染物降解途径的广泛多样,因此具有很大应用潜力。

本书概括了上述发展背景,从理论与实践相结合的角度进行了阐述。以可再生性生物质的转化利用为主要内容,详细介绍了微生物学和酶学技术的应用技术,涉及简要的理论背景和研究历史介绍,技术要点、典型产品的介绍,并对存在问题和发展前景等进行了分析,可为广大生物、化学化工、农业及环境资源各学科行业的工程技术人员参考。

山东大学微生物学科开展木质纤维素降解转化和石油微生物学研究多年,积累了丰富的经验,本书第二、三、四、五、六章对此都有深入的分析。

本书编写人员有教授高培基、曲音波、许平、陈冠军、张玉臻和黄峰、副教授卢雪梅、马翠卿、赵建,以及研究生李力、于波、孟玲、王潇杉、蔡晓凤、陈净、董涛、窦萌、冯进辉、李福利、杨素萍、郑媛。具体的编写分工详见正文章节末。

由于资源环境微生物的种类繁多,涉及的应用领域较为广泛,书中不当或遗漏之处,敬请读者指正。

高培基

2004年4月

目 录

第一章 资源环境微生物学与可再生性生物质	1
第一节 资源环境微生物技术概述	1
一、资源环境微生物技术的发展历史	3
二、资源环境微生物技术的多学科性质	5
三、资源环境微生物技术的研究目标	6
第二节 作为可再生性资源的生物质	8
一、生物质的组成	8
二、生物质能源	9
三、微生物在可再生性生物质（能）降解过程中的作用	10
第三节 资源环境微生物技术的发展趋向	11
参考文献	12
第二章 微生物对木质纤维类物质的降解转化作用	15
第一节 微生物对纤维素类物质的转化作用	15
一、降解纤维素的微生物	16
二、纤维素降解酶类	20
三、纤维素酶的作用机理	27
四、纤维素酶与纤维素降解微生物的分子生物学研究	36
第二节 半纤维素降解微生物及半纤维素酶类	41
一、半纤维素的组成及基本结构	41
二、降解半纤维素的微生物	44
三、半纤维素降解酶	44
第三节 木质素的生物降解	60
一、木质素降解微生物	61
二、木质素降解酶类	63
三、参与木质素降解的小分子物质	66
四、木质素生物降解的化学反应机制	68
五、木质素降解酶类的分子生物学研究	73
六、木质素的仿生降解	78
第四节 微生物对几丁质的降解转化作用	81
一、几丁质的分布、结构与性质	81
二、几丁质降解微生物及几丁质酶类	85

三、几丁质的生物降解与转化的应用	96
第五节 腐殖酸类物质及其应用	99
一、腐殖酸类物质及其性质	99
二、生物技术生产腐殖酸类物质的意义及其应用	102
参考文献	105
第三章 生物质转化燃料和饲料技术	111
第一节 概述	111
一、生物质资源与化学工业	111
二、燃料乙醇工业的现状和发展意义	113
三、纤维素生物转化工艺的主要难点	114
第二节 植物纤维原料预处理技术	116
一、酸水解和稀酸预处理技术	117
二、蒸汽爆碎技术	118
三、低温氨爆处理及其他脱木质素技术	119
第三节 纤维素酶的生产和纤维素水解	119
一、纤维素酶高产菌种的筛选和诱变育种	120
二、纤维素酶生产技术	122
三、用基因工程等手段提高产酶量或改进酶系组成	127
四、用蛋白质工程改善酶的性质	129
第四节 乙醇发酵菌株选育和戊糖代谢工程菌构建	130
一、木糖代谢途径和菌株改造策略	130
二、天然底物利用策略	131
三、重组菌底物利用策略	132
第五节 纤维素糖化发酵工艺	133
一、水解发酵二段法	134
二、同步糖化发酵	134
三、同步糖化共发酵	134
四、统合生物工艺	134
五、分批补料技术和纤维素-淀粉共发酵	135
六、生物精炼和产物多样化	136
第六节 有机废弃物沼气发酵	137
一、沼气发酵的过程和机理	137
二、农村沼气技术	138
三、工业有机废水厌氧消化工程	139
四、城市垃圾生产“填埋气”	140
第七节 纤维素降解酶类在食品与饲料生产加工中的应用	141

一、纤维素酶、半纤维素酶在食品加工中的应用	141
二、纤维素降解酶类在饲料工业中的应用	143
参考文献	147
第四章 绿色生物纤维加工技术	149
第一节 生物制浆	149
一、生物制浆的含义和发展史	149
二、用于生物制浆的微生物及其酶	151
三、生物制浆方法及机理	151
四、生物制浆发展中存在的主要问题	161
第二节 生物漂白	162
一、直接利用微生物处理的生物漂白	162
二、半纤维素酶处理的生物漂白	163
三、木质素降解酶的生物漂白	167
第三节 酶法纤维改性	169
一、纤维酶法改性机制及影响因素	169
二、纤维素酶解对纤维和纸浆性能的影响	172
第四节 废纸酶法脱墨	174
一、酶法脱墨研究进展	176
二、影响脱墨效果的因素	178
三、脱墨效率评价方法	182
四、酶法脱墨机理	183
五、酶法脱墨尚需解决的问题	186
第五节 酶在纺织、印染和洗涤行业中的应用	187
一、纤维素酶的应用	187
二、蛋白酶的应用	191
三、淀粉酶的应用	193
四、果胶酶的应用	193
五、脂肪酶的应用	194
六、过氧化氢酶的应用	194
参考文献	195
第五章 微生物冶金	197
第一节 用于冶金工业的微生物	197
一、浸矿用微生物的种类和特性	197
二、浸矿用微生物的采集、培养、驯化及保藏	198
三、浸矿用微生物生长过程的监测	200
第二节 微生物湿法冶金的工艺和影响因素	202

一、微生物湿法冶金的基本原理	202
二、微生物湿法冶金的工艺	204
三、微生物湿法冶金的流程	206
四、微生物湿法冶金的动力学特征	206
五、微生物湿法冶金的影响因素	208
六、微生物的进一步改造和重新构建	215
七、微生物冶金的中试与扩大实验	216
第三节 微生物湿法冶金的应用	216
一、难处理金矿石的微生物浸出	217
二、铜矿石的微生物浸出	221
三、铀矿石的微生物浸出	223
四、锌矿石的微生物浸出	225
五、其他矿产资源的微生物浸出	226
第四节 微生物湿法冶金的前景展望	228
一、改善细菌浸出动力学	228
二、加强微生物浸出设备的研制	229
参考文献	230
第六章 微生物石油资源开采和精炼技术	233
第一节 微生物采油	233
一、微生物采油简介	233
二、微生物采油的机理及特点	237
三、微生物采油的应用方法分类	240
四、微生物采油的条件	246
五、微生物采油的局限和存在的问题	251
六、微生物采油技术的现状及应用前景	252
第二节 微生物产物采油	253
一、微生物产物采油概述	253
二、微生物产物采油的方法及应用分类	255
三、微生物采油和微生物产物采油的比较	260
四、微生物产物采油的应用前景	261
第三节 石油的生物脱硫	262
一、石油的组成成分	262
二、脱硫技术介绍	263
三、石油 BDS 技术发展	264
四、脱硫机理及有关微生物	265
五、脱硫酶系的性能改善及应用	269

六、BDS 技术的工业应用与发展	269
七、BDS 技术工业化应用的前景展望及存在问题	281
参考文献	282
第七章 微生物生产的环境友好产品	285
第一节 生物塑料	285
一、聚羟基脂肪酸酯	286
二、聚乳酸	295
第二节 生物农药	299
一、生物农药的定义、概念及分类	300
二、生物农药的特点	301
三、生物农药的研究应用现状	302
四、生物农药研究及应用中存在的问题	309
五、生物农药的发展前景	310
第三节 生物产氢	311
一、光合细菌产氢	312
二、发酵产氢	317
三、古细菌产氢	318
四、展望	319
参考文献	319
第八章 难降解化合物污染的处理和生物修复	321
第一节 难降解有机污染物的生物降解转化	321
一、造纸污水生物处理	321
二、化石燃料污染处理和控制的微生物技术	330
第二节 现代生物技术在降解非生物物质中的应用	340
一、塑料的生物法处理	340
二、化学农药的生物降解	347
第三节 生物修复及基因工程改造	353
一、构建高效基因工程菌的策略	354
二、基因表达与质粒	357
三、治理污染基因工程菌构建的基本过程	358
四、基因工程菌的应用	360
参考文献	361

第一章 资源环境微生物学与可再生性生物质

第一节 资源环境微生物技术概述

物质和能量的转化、信息的传递和交流,是生命世界得以不断发展进化的基础。地球上所有自然存在的物质和人工合成的每一种化合物,都能被微生物所降解转化,这是生命世界物质循环能持续进行的一个主要环节。从这个意义上来讲,每一种微生物都是“资源”,但人们习惯于根据自身的要求把微生物分为有益和有害两大类群,这种划分既是人为的,又是相对的,如某些毒性极强的蘑菇,又是极有价值的药物来源。纤维素的降解是地球上碳素循环的中心环节,但木材的褐腐和纺织品的霉变都是纤维降解类微生物引起的。所以,对微生物基本生命活动规律的了解仍然是开发利用资源环境微生物类群的基础。限于篇幅和分工,本书中仍然以直接有益于人类的重要经济资源微生物类群为阐述的内容。

具有经济价值,有助于改善人类生活和生存的微生物称为资源微生物。资源环境微生物研究的就是人类生存环境中已经被人类所利用或具有可被利用潜力的微生物,植物资源和动物资源被人类开发利用得比较广泛。在人类生产活动中已得到广泛利用的资源微生物种类很多,尽管如此,微生物资源远未得到充分开发和利用。

微生物在自然界分布极为广泛,土壤中的微生物在数量上以细菌为最多,放线菌和真菌次之,藻类和原生动物数量较少。细菌约占土壤微生物总数的70%~90%。土壤真菌大都是好气性的,主要分布于表层,真菌在土壤中主要以菌丝和孢子形式存在,在森林土壤中则远大于细菌。许多抗生素产生菌(主要是放线菌)大量地分布在土壤中,所以土壤被广泛地用来作为分离抗生素产生菌的材料。森林土壤多呈酸性,农业土壤一般呈中性,而真菌较耐酸性,细菌则对酸性比较敏感,因此酸性土壤中真菌的种类和数量明显多于农业土壤,细菌的种类和数量则远远少于农业土壤。在农业土壤中,真菌的生物量同细菌的差别不很明显,而在森林土壤中,真菌生物量可达细菌的10倍以上。水域中的微生物分为淡水微生物和海洋微生物,有机质含量是决定水中微生物数量的重要因素。在含石油的地下水中,存在有许多能分解烃类的细菌;含铁泉水中分布有铁细菌;含硫泉水中生长有硫细菌;在温泉中则常出现耐热菌或嗜热菌。城镇等人口密集地区的水域中,由于生活污水带来大量有机物质,所以微生物数量多。海洋微生物大多具有耐盐和耐高渗的特性。空气中的微生物数量比土壤中要少得多,代谢活性也很低,空气中微生物数

量的多少取决于空气被其他生物（主要是人类）所污染的程度，尘埃越多的空气中微生物也越多。此外，在一些极端环境中，即那些偏离了一般微生物正常生存条件的环境，如高温、低温、强酸、强碱、高渗透压等环境中，常分布着某些具有高度特异性和适应性的微生物，如嗜热菌、嗜冷菌、嗜盐菌或嗜酸菌等，由于自然选择的压力，它们常具有不同于一般微生物的遗传特性、特殊代谢产物或特殊的生理机能，因而它们常会被发现具有某种特殊的应用价值。极端环境微生物的机体内具有能指导合成与特殊代谢机能有关的酶的基因，是一个珍稀的基因资源库，从中可以找到很多在一般生物中难以发现的基因，如抗热、抗寒、抗盐、抗干燥、抗酸、抗碱、抗压力、抗辐射、抗毒物基因等。

微生物是生态系统中的初级生产者，更为重要的是微生物中绝大多数细菌和所有真菌又是自然界生态系统中的主要物质的分解者，由于微生物的活动，使地球上一切非生命组分与所有生物联系起来，微生物在自然界中起着生物媒介物的作用。

资源环境微生物技术广泛应用于食品、医药、环保、化工、矿冶、轻纺等生产部门，产生巨大的社会效益和经济效益。如从嗜热微生物中提取出的嗜热蛋白酶、纤维素酶和淀粉酶已分别用于洗涤剂、制革、面包制作、蛋白饲料、酒精发酵等生产中；生产单细胞蛋白（SCP）作为饲料添加剂，可以部分取代鱼粉；用微生物工业化生产氨基酸，如用发酵法生产的氨基酸有赖氨酸、丙氨酸、精氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、苏氨酸、脯氨酸等 10 余种；用微生物工业化生产的有机酸有柠檬酸、乳酸、醋酸、葡萄糖酸、丁烯二酸、己二酸、乌头酸、苹果酸、衣康酸、透明质酸等，它们中的大多数是重要的化工原料；用微生物生产的维生素有核黄素、 β -胡萝卜素、维生素 B₂、维生素 B₁₂、维生素 C 等；用微生物生产的酶制剂有糖化酶、淀粉酶、纤维素酶、木聚糖酶、蛋白酶、脂肪酶、氧化酶、转化酶、异构酶等。在分子生物学上广泛使用的工具酶（限制性内切酶、聚合酶、连接酶等）大都来源于微生物。微生物药物生产，如抗生素及相关的生物活性物质是人类开发利用微生物成绩最大的领域，迄今所发现的抗生素大约有 10 000 种，其中已生产的 100 多种，临床应用的有几十种，绝大部分是用微生物发酵方式生产的。除了抗生素的生产，人们还利用微生物进行生物冶金，自然界有一类靠氧化矿物来获得能量的微生物——化能自养微生物，人们利用微生物的这个特性进行生物湿法冶金，氧化预处理含硫、砷、铁等的金、银、钴、锰等金属矿物，从而大大提高贵重金属的回收率，降低投资，改善劳动条件，减轻污染负荷。以气态烃为惟一碳源的微生物可以用于微生物探矿，这些微生物的数量与烃的浓度之间有相关性，可用来进行石油勘探。多种复合型多功能微生物肥料已经开发利用。木质纤维素、甲壳素、角蛋白等是地球上未

被充分利用的三大类资源物质，可以利用微生物的降解作用，将这些物质降解成葡萄糖和可利用的蛋白质生产酒精、饲料等。现存的许多工业污染物都可能被微生物分解，或转化成无毒物质。

一、资源环境微生物技术的发展历史

人类对有益微生物的利用可以追溯到数千年前的酿造技术，古老的酿造技术的本质是利用酵母等微生物的糖化和发酵机能来生产乙醇饮料。仰韶文化遗址中曾出土一些专用陶制酒具，说明该时期就已经有酿造饮用酒类的活动，到距今 4000 多年前的龙山文化时期，农业更为发达，酿酒逐渐普及。在公元 6 世纪的后魏贾思勰所著《齐民要术》中，记述了“接种”、“用酵”和“传醅”等微生物操作技法，描述了酿酒过程中肉眼可见的微生物群体形态及其有益作用，如“黄衣”、“黄蒸”等描述就是对发酵真菌（米曲霉）的初步认识。公元 2 世纪，《神农本草经》中有蚕的“白僵（病）”记载。南宋时期的《菌谱》（1245）记载了 11 种食用菌的生长时期、形态和色味。明代李时珍的《本草纲目》（1590）中记载了不少药用真菌。此外，醋、酱、豆腐酿制品和饴糖制作等先人生产活动中均大量应用了环境中的微生物资源。

15 世纪中期发明了显微镜之后，人们开始认识微生物世界。1684 年荷兰人列文虎克（Anthony van Leeuwenhoek）首次详细描述了用显微镜观察到的杆状、球状、螺旋状的细菌和运动的短杆菌等微生物形态。真正使微生物学发展成为科学的关键因素是灭菌技术和微生物纯培养技术这两个研究微生物的基本技术的建立。法国化学家巴斯德（Louis Pasteur）发明了著名的巴斯德消毒法（Pasteurization）等有效的加热灭菌技术；英国的丁道尔（John Tyndall）创立了间歇分段灭菌法或称丁道尔灭菌法（Tyndallization）；1876 年德国乡村医生科赫（Robert Koch）研究家畜的炭疽病，建立了微生物纯培养的方法。这些研究活动和方法的建立为微生物学的发展奠定了基础。特别是 19 世纪后半期，巴斯德从发酵（有益）和疾病（有害）两方面研究微生物的作用，后来的微生物学就沿着这两个方向发展。通过对发酵现象的研究，巴斯德证明了糖能转变成酒精是酵母菌的作用。1882 年，丹麦人汉森（E. C. Hansen）首次建立了酵母菌的纯种分离法，对优良工业菌种资源的选育贡献很大。1888 年，荷兰生物学家贝哲林克（M. W. Beijerinck）首次用纯培养方法从豆科植物根瘤中分离出共生固氮的根瘤菌，然后于 1891 年又分离出了自生固氮菌；在同一时期，俄国土壤微生物学家维诺格拉德斯基（Winoogradsky）也详细研究了细菌的自生及共生固氮作用，并对土壤微生物的物质转化作用进行了一系列研究，对生物固氮作用的研究促进了根瘤菌接种剂的生产 and 应用，对豆类作物的增产起到了巨大作用，进而也激发了人们对固氮微生物资源开发利用工作的更大兴趣。1892 年俄国学者伊万诺夫斯基（Ивановский）首次发现烟草花叶病的感染因子可以通过细菌滤器；1898 年

荷兰生物学家贝哲林克 (M. W. Beijerinck) 进一步肯定了伊万诺夫斯基的结果, 并将这类感染因子称为病毒 (virus); 1935 年, 美国生物化学家斯坦莱 (W. M. Stanley) 从烟草花叶病灶中分离获得病毒结晶, 后来又证明了结晶中只含有蛋白质和核酸两种成分, 只有核酸具有感染疾病和复制的能力, 这些工作奠定了病毒学的基础。

20 世纪 40 年代开始, 有益微生物及其代谢产物的研究受到重视, 微生物资源的开发利用首先在抗生素生产方面取得了重要进展。1922 年弗莱明 (Alexander Fleming) 发现了青霉菌的抗生作用, 1939 年英籍澳大利亚医生弗洛里 (Howard Walter Florey) 和他的德裔同事钱恩 (Ernest Boris Chain) 从青霉菌中分离得到了青霉素, 1941 年第一次用它来治疗葡萄球菌感染的病人, 开启了医药史上抗生素时代。1945 年, 弗莱明、弗洛里和钱恩因发现青霉素的重大贡献获得诺贝尔奖。1944 年美国微生物学家瓦克斯曼 (S. Waksman) 首次从放线菌中分离出有实用价值的抗生素——链霉素, 以后其他微生物学家相继发现了氯霉素、金霉素、四环素等一系列放线菌抗生素。1957 年, 日本的朝井等发现某些细菌在葡萄糖、无机铵盐培养基上能积累大量谷氨酸, 同年, 发酵法生产谷氨酸在日本正式投产。自 20 世纪 60 年代以来, 微生物发酵工程及酶工程迅速发展, 使微生物资源的开发利用进入了现代化工业的水平。微生物学、遗传学和生物化学的汇合产生了分子生物学, 从此生物学的研究向纵深发展, 异常迅速。20 世纪 70 年代中期出现的重组 DNA 技术, 使人类可按照自身意愿改变生物遗传性, 由此开创了基因工程, 实现了利用基因工程微生物大量生产人类胰岛素、干扰素和生长素等生物活性物质, 形成了一个崭新的生物技术产业。

生命活动的基本规律, 大多数是在研究微生物的过程中首先被阐明的。利用酵母菌无细胞制剂进行酒精发酵的研究, 不但阐明了生物体内的糖酵解途径, 且为近代生物化学领域的酶学奠定了基础; 肺炎球菌的转化试验, 论证了 DNA 是生物遗传物质基础; 而 DNA 双螺旋结构的确定, 遗传密码的揭露, 以及中心法则的建立, 从指导思想到实验方法都与微生物学有密切的关系; 大肠杆菌乳糖操纵子的研究, 为基因表达调控的研究开创了先例; RNA 逆转录酶的发现, 以 DNA 重组为标志的生物技术的兴起, 首先也是用微生物作为实验材料实现的。微生物的多样性为人类了解生命起源和生物进化提供了依据, 从最简单的营专性寄生生活的类病毒和病毒, 到营好氧生活或营厌氧生活的细菌, 既有利用有机物为能源的化能异养菌, 又有能利用无机物作为能源的化能自养菌; 既有光能自养菌, 又有光能异养菌; 还有能在极端环境中存活和繁殖的古细菌, 它们的化学组成和生理功能显著不同于一般真细菌和真核生物, 研究它们在极端环境下存活的机制, 无疑会开辟生命科学知识的新领域, 不但为了解生物进化提供依据, 而且将对某些相关学科起到