

发酵工业全书

尹光琳 战立克 赵根楠 主编



中国医药科技出版社



82.91.072
137

发酵工业全书

尹光琳
战立克 主编
赵根楠

中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书共二十一章。系统介绍发酵工业的基础知识。微生物菌种培育、发酵过程的控制、发酵常用设备、发酵产物后处理、常用仪器的使用方法等。重点介绍了十四类发酵产物(抗生素、酶制剂、有机酸、氨基酸、核苷类、维生素、留体激素等生理活性物质、微生物多糖、石油发酵产物、酿造食品类、食用药用真菌、微生物杀虫剂、菌肥及植物生长激素等)百余种微生物产品的有关生产菌种培育、发酵工艺、提取和测定方法,以及这些产品的生产使用价值和应用范围、国内外生产历史和发展趋势。

本书系统性强,内容丰富,侧重实用并富有知识性,可供从事生物技术、发酵工业的科技人员、有关企业、厂家的科技干部,以及大专院校相关学科的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

发酵工业全书/尹光琳等主编.-北京:中国医药科技出版社,1996重印
ISBN 7-5067-0578-8

I.发… II.尹… III.发酵-化学工业-手册 IV.TQ92-62

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第05139号

中国医药科技出版社 出版
(北京西直门外北礼士路甲 38号)
(邮政编码 100810)
北京市卫顺印刷厂 印刷
全国各地新华书店 经销

*

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张35¹/₄

字数819千字 印数 1901—4400

1992年10月第1版 1996年7月第2次印刷

定价: 53.00元

主 编	尹光琳	战立克	赵根楠
编写者	郭杰炎	戈苏国	尹光琳
	陈兴吴	赵根楠	张 刚
	战立克	周建龙	孙韦强

序 言

《发酵工业全书》一书即将出版了，我很高兴为之作序。本书的编写者们多年来从事微生物科研实践，经验丰富，今日共同编撰此书，目的是反映我国发酵工业的现状，总结我国发酵工业40年来的成就。本书不失为发酵行业近百万职工的一部重要工具书和参考书。

新中国成立以前，我国只有几家外国人兴办的发酵工厂、旧法酿造作坊及少数酒精工厂。新中国成立以后，我国微生物工业得到突飞猛进的发展，40余年来，不仅传统法酿造业得到改造，而且建立了微生物工业的新体系。我亲历其事30余载，感慨万千。

我国利用自然发酵来生产酱油、醋和白酒等酿造食品，已有悠久的历史。但千余年来，墨守陈规，改进不大。在酱油生产方面，直到1930年才由南京中央工业试验所分离出纯种米曲霉进行酿造，冲破了酱油生产受季节限制的框框。新中国成立后，采用低盐固态发酵，缩短了发酵时间，设备也相继实现机械化。醋的酿造也是传统生产流传千载，直到建国以后改用酶法液化回流法及深层液体通风法，方使食醋生产进入了近代发酵工业的行列之中。我国白酒生产是世界上独树一帜的酿造技艺。建国40年来，轻工部创立了“烟台酿酒操作法”，缩短了酿造时间，提高了白酒产量。在70~80年代，我国的科研工作者发现己酸菌，初步揭开了白酒香气的奥妙，最近又发现与白酒香气有关的微生物，这对缩短酿造周期，并节省耗粮都是有利的。

除了传统酿造技术的改造和提高外，40年来，我国已建立了完整的微生物发酵工业体系。我国的酒精、抗生素、酶制剂、氨基酸、有机酸、核酸、维生素、微生物农药、食用药用真菌及精细化工等发酵产品相继大量生产，有些产品年产量跃居世界之首，有些产品已达到了国际先进水平。如我国的氨基酸工业，自60年代初谷氨酸发酵正式投产后，现今已发展到200多家工厂，年总产量达到15万吨，为国家创造产值约9亿元/年，其中赖氨酸发酵已接近国际先进水平。我国的酒精工业以山东黄台溥益酒精厂和上海的中国酒精厂为最早，但因1937年日本侵略我国，中国酒精厂首先被日本飞机炸毁。新中国成立后，酒精需要量激增，目前，我国已成为世界上酒精生产大国，年产量达到100余万吨，而且酒精发酵技术水平已进入国际先进行列。值得一提的是，在维生素生产方面，以中国科学院和中国医药工业总公司首创的维生素C两步发酵生产新工艺，成为我国第一项向国外转让的发酵技术。其他如糖化酶高产黑曲霉菌株的选育，利用甘薯干粉直接发酵生产柠檬酸工艺，药用真菌的液体发酵技术都已达到世界先进水平。

我国的微生物工业由传统酿造业发展到大规模的现代发酵工业，经历了一个从无到有，从小到大的发展过程，逐渐形成了一个门类齐全、产品优良的微生物工业体系。随着生物学的发展，特别是分子生物学、基因工程、生化工程等学科的发展，今天的发酵工业已日趋转向高峰时期。微生物科研、教学机构发达，发酵行业从业人员日趋增长。不断提高科研、教学水平和发酵技术水平乃是今后为国家多做贡献的先决条件。有了这样一部实用性较强，内容充实的参考书，可以纵观全局、开拓眼界，实为发酵界同行们之

喜事。数年前我曾写过一首“漫谈微生物”古体诗，现将最后几句摘抄于后，以作此序的
结尾：近代科学精，体会多奇获，臭腐化神奇，斯道宜羽翼。

九十二岁 陳駒聲

1990年4月

前 言

微生物发酵工业是近几十年来迅速崛起的高科技工业部门之一，它涉及微生物学、生物化学、遗传学、生物工程学、机械工程学等多种学科领域。

广义的发酵是指利用微生物的某种特定功能，通过现代工程技术手段，生产有用物质的一种现代技术。发酵工业的形成经历了漫长的岁月，发酵工艺可以上溯到公元前的酿造技术。本世纪40年代，抗生素工业的发展使发酵工业产生了重大转折，传统的发酵酿造技术长期依附于食品工业的格局产生了根本变化。近代发酵工业在国民经济中的地位日趋重要，它涉及医药、食品、轻化工、饲料、环境治理、石油开采、贵重金属开采等多种工业部门。40年来，我国发酵工业经历了由传统的食品酿造过渡到近代大规模发酵工程的发展过程。目前，我国一些发酵产品产量在世界上占有重要地位，其中还有不少发明创造。我国发酵工业从业人员众多，但技术水平与世界先进国家比较尚有一定差距。有助于提高发酵工业科技人员的科研水平、开拓眼界、掌握全盘、展望未来，是本书编写的主要目的。

我国著名微生物学家、发酵工业老前辈陈驹声先生为本书欣然作序，概述了我国发酵工业的全貌；吴复华、马志方同志提供资料并撰写部分内容，在此一并致谢。

本书编写者的知识有限，疏漏不当乃至错误之处一定不少，敬请专家及广大读者不吝指正，以便再版时订正。

编写者

1990年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工业发酵的发展历史.....	1
第二节 发酵工业的范围.....	3
第三节 发酵方法的类别与流程.....	5
第四节 发展现代发酵工业的意义与展望.....	6
第二章 工业发酵的基础知识	8
第一节 工业发酵的一般概念.....	8
第二节 发酵的微生物学.....	13
第三节 发酵的生物化学.....	42
第三章 微生物菌种培育	56
第一节 微生物制种技术.....	56
第二节 微生物菌种培养条件.....	58
第三节 微生物菌种选育.....	63
第四节 微生物菌种保藏.....	77
第五节 菌种衰退及复壮.....	80
第四章 发酵工艺过程的控制	83
第一节 微生物的生长动力学.....	83
第二节 发酵生产的培养基.....	92
第三节 发酵生产中的除菌技术.....	96
第四节 发酵过程的控制和监测.....	106
第五节 发酵过程中的杂菌检查.....	115
第六节 发酵生产中噬菌体防治.....	117
第五章 工业发酵常用设备	119
第一节 工业发酵常用设备发展史.....	119
第二节 发酵罐.....	121
第三节 发酵辅助设备.....	133
第四节 发酵产物分离设备.....	135
第五节 小型试验设备.....	142
第六节 固体发酵设备.....	144
第七节 细胞固定化技术和酶反应器.....	145
第八节 发酵参数检测与控制.....	148
第九节 发酵设计.....	155
第六章 发酵产物后处理	158
第一节 发酵产物分离方法.....	158
第二节 产物提取方法.....	160

第三节	产物的结晶与重结晶	166
第四节	产物回收流程	166
第五节	污水处理及综合利用	172
第七章	常用仪器设备及使用	175
第一节	显微镜	175
第二节	天平	179
第三节	酸度计	182
第四节	分光光度计	184
第五节	烘箱和恒温箱	187
第六节	电热恒温水浴	188
第七节	振荡培养箱	189
第八节	超净工作台	190
第九节	密度计和比重计	191
第十节	粘度计	193
第十一节	离心机	200
第十二节	旋光分析仪	206
第十三节	质谱仪	209
第十四节	红外光谱仪	211
第十五节	气相色谱仪	214
第十六节	高压液相色谱仪	216
第十七节	电泳仪	219
第十八节	热磁式氧分析仪	221
第十九节	瓦勃氏呼吸仪	223
第八章	酿造工业	228
第一节	酱油	228
第二节	酱类	233
第三节	豆腐乳的制造	236
第四节	食醋的酿造	238
第五节	饴糖的制造	243
第六节	啤酒	244
第七节	葡萄酒	247
第八节	黄酒	249
第九节	白酒	251
第九章	酮醇类发酵生产	256
第一节	甘油	256
第二节	丙酮丁醇	257
第三节	2,3-丁二醇	260
第十章	抗生素类发酵生产	262
第一节	概述	262

第二节	抗生素工业生产	266
第三节	主要抗生素的工业生产	272
第四节	抗生素发展方向	286
第十一章	酶的发酵生产	289
第一节	酶的特性及分类	289
第二节	淀粉酶的分类及其作用方式	292
第三节	α -淀粉酶	293
第四节	糖化酶	299
第五节	β -淀粉酶	303
第六节	异淀粉酶和茁霉多糖酶	305
第七节	蛋白酶	307
第八节	葡萄糖异构酶	312
第九节	果胶酶	315
第十节	纤维素酶	318
第十一节	葡萄糖氧化酶	322
第十二节	其他酶	325
第十三节	酶的提取	330
第十四节	酶的精制	331
第十五节	固定化酶	333
第十二章	有机酸发酵生产	342
第一节	概述	342
第二节	柠檬酸发酵	345
第三节	乳酸发酵	350
第四节	衣康酸发酵	353
第五节	苹果酸发酵	355
第六节	曲酸发酵	357
第七节	反丁烯二酸发酵	358
第八节	葡萄糖酸发酵	359
第十三章	氨基酸发酵生产	362
第一节	概述	362
第二节	谷氨酸发酵	363
第三节	赖氨酸发酵	371
第四节	其他氨基酸的发酵	376
第十四章	核酸类物质发酵生产	386
第一节	概述	386
第二节	肌苷酸发酵	388
第三节	鸟苷酸发酵	391
第四节	肌苷的发酵生产	393
第五节	其他核酸类物质发酵	396

第十五章	维生素发酵生产	402
第一节	概述.....	402
第二节	维生素B ₂ 发酵.....	405
第三节	维生素B ₁₂ 发酵.....	409
第四节	维生素C发酵.....	413
第五节	其他由微生物法合成的维生素和辅酶.....	418
第十六章	生理活性物质发酵生产	420
第一节	甾体激素.....	420
第二节	酶抑制剂.....	429
第三节	其他生理活性物质.....	434
第十七章	工业废水处理	436
第一节	环境污染与微生物.....	436
第二节	微生物处理废水对环境条件的要求.....	437
第三节	废水处理方法.....	439
第四节	微生物处理发酵工业废水的实例.....	447
第五节	微生物处理发酵工业废水的展望.....	448
第十八章	微生物多糖发酵生产	450
第一节	概况.....	450
第二节	多糖的分类.....	450
第三节	微生物多糖的生产.....	451
第四节	环状糊精.....	454
第五节	黄单胞菌多糖.....	457
第六节	茁霉多糖.....	460
第七节	右旋糖酐.....	462
第十九章	石油发酵的各类产品	466
第一节	石油发酵生产的有机酸.....	466
第二节	烃类发酵的微生物产品.....	468
第三节	石油发酵生产单细胞蛋白.....	473
第四节	石油发酵生产其他精细化工产品.....	476
第二十章	食用、药用真菌的发酵生产	478
第一节	概述.....	478
第二节	蘑菇.....	483
第三节	香菇.....	484
第四节	黑木耳.....	487
第五节	平菇.....	489
第六节	竹荪.....	491
第七节	猴头.....	492
第八节	灵芝.....	493
第九节	茯苓.....	495

第十节 麦角.....	496
第十一节 冬虫夏草.....	498
第十二节 其他药用菌的深层发酵.....	500
第二十一章 微生物农药、菌肥和植物生长激素的发酵生产.....	504
第一节 工业发酵在农业生产上的应用.....	504
第二节 微生物农药.....	504
第三节 菌肥.....	515
第四节 植物生长激素.....	518
附 录.....	522
附录一 波美度与比重的换算.....	522
附录二 实验室中常用酸碱的比重和浓度的关系.....	527
附录三 常用离子交换树脂表.....	528
附录四 离心机转速 (r/min) 与相对离心力 (RCF) 的换算.....	533
附录五 常用各类微生物培养基.....	534
附录六 国内外主要菌种保存中心.....	540
附录七 常用缓冲液配制.....	545
附录八 国际单位制 (SI) 的单位及常用物理量换算.....	550
附录九 常用消毒剂和杀菌剂.....	552

第一章 绪 论

发酵生产已有数千年的历史，然而对发酵本质的认识相发酵工业的建立却只是近百年的事。最初发酵是用来描述酵母菌作用于果汁或麦芽汁产生气泡的现象，或者是指酒的生产过程。因为酵母菌作用于果汁或麦芽汁，使其中的糖分解形成酒精和二氧化碳，当二氧化碳逸出时，便产生气泡。

但是，在工业微生物学（或工业发酵）与生物化学领域中“发酵”一词的含义是不完全相同的。在生物化学或生理学上发酵是指微生物在无氧条件下，分解各种有机物质产生能量的一种方式，或者更严格地说，发酵是以有机物作为电子受体的氧化还原产能反应。如葡萄糖在无氧条件下被微生物利用产生酒精并放出二氧化碳。同时获得能量，丙酮酸被还原为乳酸而获得能量等等。

工业上“发酵”一词是泛指利用微生物制造或生产某些产品的过程，它包括厌氧培养的生产过程，如酒精、丙酮丁醇、乳酸等，以及通气（有氧）培养的生产过程，如抗生素、氨基酸、酶制剂等的生产。产品既有细胞代谢产物，也包括菌体细胞、酶等。

为什么利用微生物进行工业化生产某种产品的过程都称为发酵呢？众所周知，酒精的产生在生物化学意义上是经发酵过程获得的。利用酵母菌进行酒精（包括各种酒类）的生产已有几千年的历史，而且它又是第一个利用代谢产物的工业化生产的产品。所以，后来工业微生物学家就把发酵一词延伸到所有利用微生物生产产品的过程，这大概是现在所以把利用微生物加工产品的过程通称之为发酵的由来。

显然，有些发酵产品的生产过程，如制酒，酒精和有机溶剂、乳酸等的生产，无论从生物化学或工业微生物意义上讲，都可称之为“发酵”，但是所有通气培养微生物制造产品的过程所指的发酵是属于工业微生物意义上的，或广义的发酵。应指出，本书所讨论的问题正是后者。

第一节 工业发酵的发展历史

早在公元前二千年或甚至六七千年以前，我国人民就已经利用微生物进行“曲蘖酿酒”。古埃及也开始制造啤酒。但是作为发酵工业却是近百年才发展起来的。它的发展大致经历如下几个阶段：

一、天然发酵阶段

从史前至 19 世纪末，在微生物的性质尚未被人们所认识时，人类已经利用自然接种方法进行发酵制品的生产。主要产品有酒、酒精、醋、啤酒、干酪、酸乳以及酵母等。当时实际上还谈不上发酵工业，而仅仅是家庭式或作坊式的手工业生产。多数产品为厌气发酵，非纯种培养，凭经验传授技术和产品质量不稳定是这个阶段的特点。

二、纯培养技术的建立

在巴斯德卓越的工作之后，微生物学发展史上的又一奠基人科赫（Koch）建立了微

生物分离纯化和纯培养技术，人类才开始了人为地控制微生物的发酵进程，从而使发酵的生产技术得到巨大的改良，提高了产品的稳定性，这对发酵工业起了巨大的推动作用。由于采用纯种培养与无菌操作技术，包括灭菌和使用密闭式发酵罐，使发酵过程避免了杂菌污染；使生产规模扩大了；使产品质量提高。特别是在第一次世界大战中，由于战争的需要，使丙酮、丁醇和甘油等工业飞快发展，不仅建立起真正的发酵工业并逐渐成为化学工业的一个部分。此外，由于酵母生产的日益扩大，发酵过程中供氧不足，导致菌体生产受影响和乙醇的积累，开始出现补料发酵及设有空气分布器的发酵罐，因此可以认为纯培养技术的建立是发酵技术发展的第一个转折时期。

三、通气搅拌发酵技术的建立

青霉素的问世，给人类医疗保健事业作出了巨大贡献，使千百万生命免除了死亡的威胁，同时在发酵工业发展史上也开创了崭新的一页。由抗生素发酵开始发展起来的通气搅拌液体发酵技术是现代发酵工业最主要的生产方式，它使需氧菌的发酵生产从此走上大规模工业化生产途径，并且逐渐形成和建立起生化工程学科。与此同时也有力地促进了菌体转化、微生物酶与氨基酸发酵工业的迅速发展，因而认为通气搅拌发酵技术的建立是发酵工业发展上第二个转折点。

四、代谢控制发酵技术

随着生物化学、微生物生理学以及遗传学的深入发展，对微生物代谢途径和氨基酸生物合成的研究和了解的加深，人类开始利用调控代谢的手段进行微生物选种育种和控制发酵条件。1956年日本首先成功地利用自然界存在野生的生物素缺陷型菌株进行谷氨酸发酵生产。此后，赖氨酸、苏氨酸等一系列氨基酸都采用发酵法生产。显然，利用微生物生产氨基酸是以代谢调控为基础的新的发酵技术。它是根据氨基酸生物合成途径用遗传育种方法进行微生物人工诱变，选育出某些营养缺陷株或抗代谢类似物的菌株在营养条件进行控制的情况下发酵生产，使之大量积累人们预期的氨基酸。由于氨基酸发酵而开始的代谢控制发酵，使发酵工业进入了一个新的阶段。随后，核苷酸、抗生素以及有机酸等方面也利用代谢调控技术进行发酵生产。

五、开拓发酵原料时期

传统的发酵原料主要是粮食、农副产品等糖质原料，随着作为饲料酵母及其他单细胞蛋白的需要日益增多，急需开拓和寻找新的糖质原料。因此石油化工副产物石蜡、醋酸、甲醇以及甲烷等碳氢化合物被用来作为发酵原料，开始了所谓石油发酵时期。由于利用碳氢化合物大规模生产单细胞蛋白，使发酵罐的容量发展到前所未有的规模(3 000米³)，同时以碳氢化合物为原料在发酵时氧耗大，这就给发酵设备带来新的要求，发展了循环式、喷射式等多种发酵罐，并用计算机控制进行灭菌，控制发酵 pH 和应用氧电极等措施，使发酵生产朝自动控制前进一大步。

目前，用醋酸生产谷氨酸，用甲烷、甲醇以及正构石蜡生产单细胞蛋白、柠檬酸等已达到工业化水平。

六、基因工程阶段

70年代开始,由于DNA体外重组技术的建立,发酵工业又进入一个崭新的阶段,这就是以基因工程为中心的生物工程时代。基因工程是采用酶学的方法,将不同来源的DNA进行体外重组,再把重组DNA设法转入受体细胞内,并进行繁殖和遗传下去。这样人们就能够根据自己的意愿将微生物以外的基因构件导入微生物细胞内,从而达到定向地改变生物性状与功能创造新的“物种”,使发酵工业能够生产出自然界微生物所不能合成的产物。大大地丰富了发酵工业的范围,使发酵工业发生革命性变化。

表 1-1 工业发酵的发展历史

时 间	发酵阶段	主要产品	主要技术
古代—1900	天然发酵	酒、醋、酵母	天然接种
	↓	干酪	分批培养
1905—	纯培养	酒精、丙酮丁醇	密闭纯培养
	↓		
1940—	通气搅拌	抗生素、有机酸、	通气搅拌发
	↓	酶、维生素	酵罐、连续
1957—	代谢控制	氨基酸、核苷酸	选育代谢调
	↓		节和缺陷生产菌株
1960—	开拓原料	单细胞蛋白	采用石蜡等为原料,
	↓		3000吨罐连续发酵
1979—	基因工程菌	胰岛素、干	DNA重组菌株
	↓	扰素等	

第二节 发酵工业的范围

在商业上具有重要意义的微生物发酵生产主要包括以下5个方面:

1. 以微生物细胞为产物的发酵工业。
2. 以微生物代谢产物为产品的发酵工业。
3. 以微生物酶为产品的发酵工业。
4. 生物转化或修饰化合物的发酵工业。
5. 微生物废水处理和和其他。

一、生产微生物细胞物质

这是以微生物菌体细胞为产品的发酵工业,包括酵母,各种单细胞蛋白,作为生物防治的苏云金杆菌以及各种人、畜疾病防治用的疫苗等。细胞物质的发酵生产特点是细胞的生长与产物积累成平行关系,生长速率最大时期也是产物合成速率最高阶段,生长稳定期细胞物质浓度最大,同时也是产量最高的收获时期。面包酵母是最古老的发酵工业之一,早在19世纪末已形成大规模工业生产。以酵母菌生产人类食物蛋白早在第一次世界大战时期已经开始,但是直到20世纪60年代后,由于作为饲料蛋白的微生物细胞需求量急剧增长,单细胞蛋白的生产才有了长足的进展。现在世界各地都在研究利用各种

废弃原料、工业和农业的副产物生产各类单细胞蛋白，规模之大为所有发酵工业之首。

二、微生物代谢产物

已知微生物代谢产物不下数千种，以微生物代谢产物为产品的发酵生产是发酵工业中数量最多、产量最大，也是最重要的部分，它们包括初级代谢产物、中间代谢产物和次级代谢产物。要严格区分各类代谢产物的性质并非易事。一般认为生长对数期形成的产物往往是细胞生长自身所必须，如各种氨基酸、核苷酸、蛋白质、核酸、脂类及碳水化合物等。这些都属于初级产物或中间代谢产物。多数初级产物具有一定经济价值，可供商业开发。但自然界存在的野生型菌株所合成的初级产物一般只够满足自身生长所需，因此工业微生物学家应改良菌种性能和改善发酵条件，提高产率，才能适应工业生产需要。

各种次级(或次生)代谢产物都是在微生物生长缓慢或停止生长时期即稳定期所产生的。这些化合物对细胞代谢自身并不显示出有什么太大作用(至少现在仍这样认为)。次级代谢产物来自中间代谢产物和初级代谢产物。抗生素是大家所熟知的次级代谢产物，它们主要由放线菌、真菌以及芽孢细菌合成。此外，有些次级代谢产物是生长刺激剂或酶的抑制剂。

初级和次级代谢产物关系如图 1-1 所示。

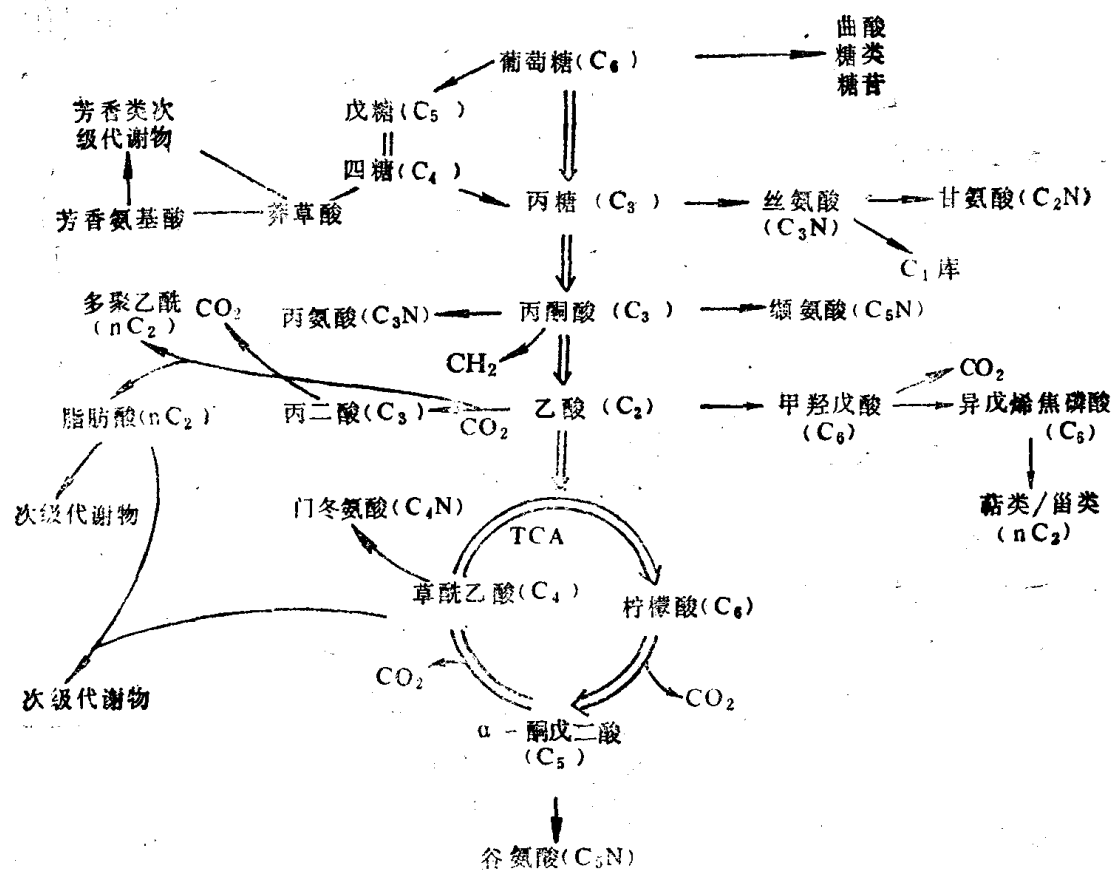


图 1-1 初级代谢和次级代谢的关系

⇒: 表示初级代谢途径
斜体字: 代谢次级代谢产物

三、微生物产生的酶

动物、植物以及微生物细胞中都存在各种各样的酶，但是从经济和工艺观点出发，最为方便的是利用发酵法制备生产并提取微生物生产的各种酶。这与动、植物来源的酶相比，前者不仅易于进行大规模生产，也更便于改善工艺提高产量。微生物酶的生产也是当今发酵工业的重要组成部分。目前工业化生产的酶主要是各种水解酶类，如淀粉水解酶、蛋白水解酶、乳糖酶、青霉素酰化酶等；而非水解酶类除葡萄糖异构酶、葡萄糖氧化酶等少数酶已进行工业生产外，而多数非水解酶类尚未工业化生产。微生物酶主要用于食品加工（如淀粉水解和葡萄糖转化为果糖）、洗涤剂、皮革加工、医药生产等方面。酶的生物合成往往需要诱导作用，或遭受阻遏、抑制等调控作用的影响，这些在菌种选育、培养基配制以及发酵条件等方面都需给予注意。

四、微生物的生物转化

生物转化是指利用生物细胞对一些化合物某一特定部位（基团）的作用，使它转变成结构相类似但具有更大经济价值的化合物。生物转化的最终产物并不是由于营养物质经微生物细胞的代谢后产生的，而是由微生物细胞的酶或酶系对底物某一特定部位进行化学反应而形成的。在这里微生物细胞的作用仅仅相当于一种特殊的化学催化剂引起特定部位的反应。最简单的生物转化例子是微生物细胞将乙醇氧化形成乙酸，即醋的生产过程。但是发酵工业中最重要的生物转化是甾体的转化，如将甾体化合物的 11 位进行氧化转化为可的松等。转化反应包括脱氢、氧化、羟化、还原、脱羧、氨基化、缩合、脱氨、磷酸化等等。

五、微生物处理废水及其他

发酵工业除前述 4 大类外，目前还涉及如下几个领域。

1. 利用微生物净化三废物质：主要是分解各种有毒有害物质，或者利用废物作为营养物生产单细胞蛋白或沼气，或者直接降解含氰、含酚以及农药等有毒物质。
2. 微生物湿法冶金：它是利用微生物对某些金属氧化物的氧化还原反应，使低品位矿中的某些金属成为可溶性的化合物而得以冶炼。

上面介绍的是依据微生物产物的性质而区分的几类。但若从产品或行业来看，则包括如下几方面：① 酿酒工业；② 酒精、有机溶剂；③ 发酵食品；④ 抗生素；⑤ 有机酸；⑥ 酶制剂；⑦ 氨基酸；⑧ 核苷酸；⑨ 维生素；⑩ 激素、甾体类；⑪ 单细胞蛋白；⑫ 环保及其他。

第三节 发酵方法的类别与流程

一、发酵方法的类别

根据所用各种微生物的生理特征、营养要求、培养基性质、生产方式的实际情况，可将发酵生产方法分为：

（一）厌氧和有氧发酵