



普通高等教育“十一五”国家级规划教材




面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

食品发酵与酿造工艺学

第二版

何国庆 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

食品发酵与酿造工艺学

第二版

何国庆 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品发酵与酿造工艺学/何国庆主编. —2 版. —
北京: 中国农业出版社, 2011. 8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 面向 21 世
纪课程教材

ISBN 978-7-109-15861-0

I. ①食… II. ①何… III. ①发酵食品—生产工艺—
高等学校—教材 IV. ①TS26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 146551 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 王芳芳

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 12 月第 1 版 2011 年 8 月第 2 版

2012 年 6 月第 2 版北京第 2 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 25.25

字数: 627 千字

定价: 39.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

第二版编写人员

主 编 何国庆

副主编 丁立孝 江汉湖

编 者 (按姓名笔画排序)

丁立孝 (青岛农业大学)

王昌禄 (天津科技大学)

江汉湖 (南京农业大学)

杨幼慧 (华南农业大学)

何国庆 (浙江大学)

张 箴 (中国农业大学)

陈启和 (浙江大学)

郑晓冬 (浙江大学)

宫春波 (青岛农业大学)

韩北忠 (中国农业大学)

第一版编审人员

主 编 何国庆

编 者 (按姓名笔画排序)

江汉湖 (南京农业大学)

何国庆 (浙江大学)

张 箴 (中国农业大学)

郑晓冬 (浙江大学)

主 审 史贤明 (华中农业大学)

第二版前言

本教材第一版是教育部“面向 21 世纪高等农林教育教学内容和课程体系改革计划”项目的成果，出版以来受到广大师生的好评，教育部批准作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材进行修订。

食品发酵与酿造是指以发酵工程、酶工程及基因工程为支撑，利用微生物细胞的特定性状，通过现代化工程技术，生产食品或保健品的一种技术。它不但是支持现代食品工业的重要技术，同时也是生物技术产业化的重要手段。因此，食品发酵与酿造技术越来越受到人们的重视，成为食品科学与工程相关专业的必修课程，但适用的教材却不多。为此，我们组织浙江大学、中国农业大学、南京农业大学、华南农业大学、青岛农业大学、天津科技大学六所高校长期从事该领域研究和教学的富有经验的教授，对《食品发酵与酿造工艺学》（第一版）进行了修订。

《食品发酵与酿造工艺学》第二版在保持第一版结构特色的基础上，增加了近几年食品发酵与酿造产业中新产品的生产内容，使学生能够及时获取食品发酵与酿造的前沿知识，掌握当今食品发酵与酿造的研究方向，进而促进其开拓与创新。同时，本教材还新增了发酵工艺优化技术、生物转化、清洁生产等内容，强调了工艺控制参数筛选设计方法，使教材的知识体系更加系统、明确。

发酵技术主要由两个核心部分组成：一是生物催化剂，二是生物反应系统。我们在教材的编写过程中，对这两部分的内容做了系统论述。特别是为了反映现代食品发酵与酿造技术的发展趋势和适应现代食品发酵与酿造工业的需要，我们在广泛参阅文献的基础上，充实了现代生物技术在食品发酵与酿造中应用的内容。同时，对各类产品的发酵技术和食品工业废弃物的生物学处理进行了详细论述。教材内容比较丰富、全面、详细，并注意了保证基本理论、基础知识及实际操作技能的掌握与训练。

本教材的主要内容有：菌种选育、保藏与复壮，微生物代谢调控理论及其应用，发酵与酿造工程学基础及主要设备，酒精发酵与酿酒，氨基酸与核酸发酵，有机酸发酵，酶制剂生产，发酵豆制品，微生物性功能食品与食品添加剂，清洁生产与食品工业废弃物生物法处理及综合利用。

参加本教材编写的有：丁立孝、王昌禄、江汉湖、杨幼慧、何国庆、张麓、

陈启和、郑晓冬、官春波、韩北忠等。在编写过程中得到各位编委的密切配合，特此致谢，同时也要对中国农业出版社的大力支持表示谢意。

本书适宜作为相关院校食品科学与工程等专业的本科教材，也可以供相关专业的研究生、科研人员及生物工程专业的师生参考。

由于编者水平和时间有限，缺点和错误在所难免，恳请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

编 者

2010年12月

第一版前言

本教材是教育部“面向 21 世纪高等农林教育教学内容和课程体系改革计划”项目的成果。

食品发酵与酿造是指以发酵工程、酶工程及基因工程为支撑，利用微生物细胞的特定性状，通过现代化工程技术，生产食品或保健品的一种技术。它不但是支持现代食品工业的重要技术，同时也是生物技术产业化的重要手段。因此，食品发酵与酿造技术越来越受到人们的重视，成为食品科学与工程相关专业的必修课程，但适用的教材却不多。为此，我们组织浙江大学、中国农业大学、南京农业大学长期从事该领域研究和教学的富有经验的教授，在中华农业科教基金的资助下，编写了这本农业部“九五”规划教材——《食品发酵与酿造工艺学》，并被列入教育部“面向 21 世纪课程教材”。

发酵技术主要由两个核心部分组成：一是生物催化剂，二是生物反应系统。我们在教材的编写过程中，对这两部分的内容做了系统论述。特别是为了反映现代食品发酵与酿造技术的发展趋势和适应现代食品发酵与酿造工业的需要，我们在广泛参阅文献的基础上，充实了现代生物技术在食品发酵与酿造中应用的内容。同时，对各类产品的发酵技术和食品工业废弃物的生物学处理进行了详细论述。教材内容比较丰富、全面、详细，并注意了保证基本理论、基础知识及实际操作技能的掌握与训练，能够满足不同水平读者的要求，适合作为食品科学与工程相关专业的教材，也可供相关专业研究生、教师或科技工作者等参考。

本书的主要内容有：菌种选育、保藏与复壮，微生物的代谢调控理论及其在食品发酵与酿造中的应用，发酵与酿造工程学基础及主要设备，酒精发酵与酿酒，氨基酸与核酸发酵，有机酸发酵，酶制剂生产，发酵豆制品，微生物性功能食品与食品添加剂；食品工业废弃物的生物学处理。

参加本教材编写工作的有浙江大学的何国庆教授（第一章、第四章、第五章、第八章第四节），中国农业大学的郑麓教授（第二章、第七章），南京农业大学的江汉湖教授（第九章、第十章、第八章第一节和第五节）和浙江大学的郑晓冬教授（第三章、第六章、第十一章、第八章第二节和第三节）。

限于时间和编者的水平，书中可能存在着不妥和错误之处，恳请读者提出宝贵意见。

最后感谢中华农业科教基金会对本书出版的支持。

编者

2001年9月于杭州

目 录

第二版前言
第一版前言

第一章 绪论 1

- 一、食品发酵与酿造的历史 1
- 二、食品发酵与酿造的特点以及与现代生物技术的关系 3
- 三、食品发酵与酿造的研究对象 5
- 四、食品发酵方式 7
- 五、食品发酵与酿造的发展趋势 8

复习思考题 11

第二章 菌种选育、保藏与复壮 12

第一节 菌种选育 12

- 一、微生物菌种选育的理论基础 12
- 二、自然选育 15
- 三、诱变育种 17
- 四、杂交育种 27
- 五、原生质体融合 30
- 六、基因工程技术 36

第二节 菌种保藏与复壮 40

- 一、菌种保藏 40
- 二、菌种纯化与复壮 46

第三节 国内外主要菌种保藏机构 46

复习思考题 48

第三章 微生物代谢调控理论及其应用 49

第一节 微生物代谢与调节的生化基础 49

- 一、微生物代谢的分类 49
- 二、代谢调节的部位 50

三、与代谢调节有关的酶 52

第二节 微生物酶活性的调节 54

- 一、共价修饰 56
- 二、别(变)构控制 57
- 三、缔合与解离 57
- 四、竞争性抑制 58
- 五、酶的降解 58

第三节 微生物代谢的过程调控途径与方法 58

- 一、诱导作用 58
- 二、分解代谢物的调节 60
- 三、反馈调节 62
- 四、能荷调节 65

第四节 代谢控制在工业发酵中的应用 67

- 一、改变微生物遗传性状调控代谢 68
- 二、发酵工艺条件的优化 70

复习思考题 72

第四章 发酵与酿造工程学基础及主要设备 73

第一节 发酵工艺过程 73

- 一、菌种活化与扩大培养 73
- 二、发酵与酿造原料前处理及培养基制备 75
- 三、发酵与酿造操作方式 79
- 四、产物分离、提取与后加工 81

第二节 微生物发酵动力学类型 85

- 一、分批发酵 86
- 二、连续发酵 91
- 三、补料分批发酵 95
- 四、微生物生长与代谢产物合成的动力学关系 98

第三节 发酵工艺控制	100	四、麦芽汁制备	161
一、温度对发酵的影响及其控制	101	五、啤酒发酵	164
二、溶解氧对发酵的影响及其控制	104	六、过滤和灌装	169
三、pH对发酵的影响及其控制	106	第四节 葡萄酒酿造	169
四、二氧化碳和呼吸商	107	一、葡萄酒的种类和质量标准	170
五、基质浓度对发酵的影响及补料 控制	109	二、葡萄酒生产原料	170
六、泡沫控制	110	三、葡萄酒发酵中的微生物	172
七、发酵终点判断	112	四、白、红、桃红葡萄酒的生产工艺	174
第四节 发酵工艺优化	112	五、葡萄酒的贮存(陈酿)	180
一、发酵工艺优化策略	112	六、葡萄酒的调配	180
二、正交试验设计	113	七、葡萄酒的澄清、冷处理和过滤	181
三、均匀设计	114	八、葡萄酒的包装、杀菌和瓶贮	181
四、析因设计	114	九、葡萄酒的再加工	182
五、响应面设计	115	第五节 黄酒酿造	185
第五节 发酵与酿造的主要设备	117	一、黄酒的种类和质量标准	185
一、原料处理设备	117	二、黄酒生产原料	186
二、固体发酵设备	119	三、糖化发酵剂及其制备	188
三、机械搅拌通气发酵罐 (生物反应器)	120	四、黄酒酿造工艺	194
四、空气净化系统	124	[附] 日本清酒酿造	201
五、培养基灭菌系统	126	复习思考题	204
六、产物分离与提取设备	129	第六章 氨基酸与核酸发酵	205
复习思考题	132	第一节 谷氨酸生产	206
第五章 酒精发酵与酿酒	133	一、谷氨酸生产原料及其处理	206
第一节 酒精发酵	133	二、谷氨酸生产菌	209
一、酒精发酵原料	133	第二节 其他氨基酸发酵	218
二、与酒精发酵有关的微生物	134	一、赖氨酸发酵	218
三、酒精发酵生化机制	135	二、L-天冬氨酸发酵	219
四、酒精发酵工艺	139	三、苏氨酸发酵	220
五、酒精蒸馏与精馏	143	四、蛋氨酸发酵	221
第二节 白酒生产	144	五、L-缬氨酸发酵	221
一、白酒的种类、成分和质量标准	145	第三节 核苷酸发酵	222
二、大曲白酒生产	146	一、核苷酸的化学结构与性质	222
三、小曲白酒生产	152	二、核苷酸生产工艺	223
第三节 啤酒酿造	154	复习思考题	230
一、啤酒的种类和质量标准	155	第七章 有机酸发酵	231
二、啤酒酿造原料	156	第一节 乳酸发酵	232
三、麦芽制造	158	一、乳酸菌及其发酵类型	232
		二、乳酸的工业化发酵生产	236

三、乳酸发酵制品	240	复习思考题	296
四、其他乳酸发酵食品	245	第九章 发酵豆制品	297
第二节 醋酸发酵	249	第一节 酱类和酱油酿造	297
一、食醋发酵工艺类型	249	一、酱类和酱油酿造原料	297
二、食醋发酵生产	250	二、酱油酿造和制酱的微生物	301
第三节 柠檬酸发酵	256	三、酱油酿造的生物化学	303
一、柠檬酸的理化性质	256	四、酱油酿造工艺	306
二、柠檬酸发酵生产原料	256	五、制酱工艺	311
三、柠檬酸生产菌种及生物合成途径	257	第二节 腐乳制造	312
四、柠檬酸的质量标准	261	一、腐乳制造沿革	312
第四节 其他有机酸发酵	261	二、腐乳生产的原辅材料	313
一、反丁烯二酸发酵	261	三、豆腐坯制作	315
二、苹果酸发酵	262	四、腐乳发酵	317
三、葡萄糖酸发酵	265	五、腐乳生产中常见的几种质量 问题	319
四、丁酸发酵	266	第三节 豆豉和纳豆制品	321
五、衣康酸发酵	266	一、豆豉	321
复习思考题	268	二、特种豆豉	322
第八章 酶制剂生产	269	三、纳豆	323
第一节 酶制剂的工业化生产	269	第四节 丹贝	325
一、工业化酶制剂生产的优点	269	一、丹贝概述	325
二、酶制剂生产的基本工艺流程	270	二、丹贝的营养特性	325
第二节 淀粉酶	271	三、丹贝的功能特性	326
一、 α -淀粉酶	272	四、丹贝的制作工艺	329
二、 β -淀粉酶	275	复习思考题	330
三、糖化酶	276	第十章 微生物性功能性与 食品添加剂	331
四、 β -葡聚糖酶	279	第一节 微生物性功能性与食品	331
五、 α -半乳糖苷酶	279	一、功能性低聚糖	331
第三节 蛋白酶	281	二、真菌多糖	334
一、中性蛋白酶	282	三、活性肽	339
二、酸性蛋白酶	283	四、活性微量元素	341
三、碱性蛋白酶	285	五、螺旋蓝细菌	344
四、弹性蛋白酶	286	六、益生菌——功能性微生物	345
第四节 其他酶类生产	288	第二节 微生物性食品添加剂	347
一、葡萄糖异构酶	288	一、黄原胶	347
二、脂肪酶	289	二、茁霉多糖	349
三、纤维素酶	291	三、食用微生物色素	350
四、果胶酶	292		
五、葡萄糖氧化酶	294		
六、凝乳酶	295		

四、乳酸链球菌素	352	二、食品工业废水的种类和特点	368
五、微生物性风味物质——酵母 提取物	353	第三节 食品工业废水、废渣的 单细胞蛋白生产	371
六、海藻糖	354	一、单细胞蛋白生产的意义	371
第三节 生物转化在微生物性功能 食品生产中的应用	356	二、用于单细胞蛋白生产的微生物 种类	371
一、生物转化概述	356	三、单细胞蛋白生产原料	372
二、生物转化在功能性食品与添加 剂生产中的应用	358	四、单细胞蛋白生产工艺	374
复习思考题	363	第四节 食品工业废水的处理 方法	375
第十一章 清洁生产与食品工业 废弃物生物法处理及 综合利用	364	一、好氧处理法	376
第一节 清洁生产及其在食品工业 中的应用	364	二、厌氧处理法	379
一、清洁生产概述	364	第五节 生物膜法	384
二、清洁生产在食品工业中的应 用	366	一、生物膜的形成	384
第二节 食品工业中废弃物的种 类和特点	367	二、生物膜中常见的微生物	384
一、食品工业废渣的种类和特 点	367	三、几种生物膜处理方法	384
		第六节 食品工业废渣的处理方 法	387
		复习思考题	388
		主要参考文献	389

第一章

绪论

传统的食品发酵与酿造技术是人类利用微生物的开始。随着人类文明的发展,科学技术的不断进步,食品发酵与酿造技术在近几个世纪得到了迅速发展,尤其是20世纪50年代,DNA双螺旋结构模型及DNA半保留复制假说的确立,70年代体外DNA重组技术的实现,并迅速形成的以基因工程为核心内容,包括细胞工程、酶工程、发酵工程和生化工程的生物技术(biotechnology),亦称生物工程(bioengineering),推动了食品发酵与酿造技术的质的飞跃。生物技术(工程)突飞猛进的发展,大大推动了发酵技术、酶工程技术和生化技术的发展,而这些工程技术又强有力地推动了食品工业的发展。利用生物技术(工程)制造食品的产量与产值至今仍占生物技术(工程)的首位。与食品工业不可分割的微生物发酵成为现代生物技术(工程)不可缺少的重要组成部分,同时也是现代生物技术(工程)产业化、服务于国民经济所必需的环节。世界各国都把发酵与酿造技术作为农产品与食品加工最重要的手段之一,并且认为食品领域是21世纪最可能获得突破性进展的分支之一。总之,食品发酵与酿造技术具有巨大的发展潜力,将为解决世界面临的粮食危机、蛋白质匮乏、能源枯竭等问题提供良好的研发前景。

一、食品发酵与酿造的历史

发酵的英文“fermentation”源自于拉丁语“ferver”,即从“发泡”、“翻涌”派生而来的,因为发酵发生时会有鼓泡和类似沸腾翻涌的现象。如中国黄酒的酿造和欧洲啤酒的发酵就以起泡现象作为判断发酵进程的指标。人类利用微生物进行食品发酵与酿造已有数千年的历史,发酵现象是自古以来就已被人们发现并掌握的,但由于对发酵与酿造的主角——微生物缺乏认识,发酵与酿造的本质长时间没有被揭示,始终充满着神秘色彩。因此,在19世纪中叶以前,发酵与酿造业的发展极其缓慢。

17世纪后叶的荷兰显微镜学家、微生物学的开拓者——列文·虎克(Antonie Van Leeuwenhoek),在微生物的发现上作出了重大贡献。列文·虎克发明了世界上第一台显微镜,实现了人类历史上首次利用显微镜用肉眼发现了单细胞生命体——微生物。由于当时“自然发生学说”盛极一时,列文·虎克的发现并没有受到应有的重视,在随后的100多年里,他对各种各样微生物的观察一直没有间断,但仍然未揭示微生物与发酵的关系。直到19世纪中叶,法国微生物学家——路易斯·巴斯德(Louis Pasteur)经过长期而细致的研究,利用“曲颈瓶实验”否定了“自然发生学说”,揭示了发酵是微生物作用的结果。随后,巴斯德连续对当时的乳酸发酵、转化糖酒精发酵、葡萄酒酿造、食醋制造等各种发酵进行研究之后,巴斯德认识到不同类型的发酵,是由各种特定的微生物所引起的。但在巴斯德的研究中,进行的都是自然发生的混合培养,对微生物的控制技术还没有很好掌握。

德国细菌学家——罗伯特·科赫(Robert Koch)则建立了单种微生物的分离和纯培养

技术,利用这种技术研究炭疽病时,发现动物的传染病是由特定的细菌引起的。从而得知,微生物也和高等植物一样,可以根据它们的种属关系明确地加以区分。从此以后,各种微生物的纯培养技术获得成功,人类靠智慧逐渐学会了微生物的控制,把单一微生物菌种应用于各种发酵产品中,在产品防腐、产量提高和质量稳定等方面起到了重要作用。因此,单种微生物分离和纯培养技术的建立,是食品发酵与酿造技术发展的第一个转折点。

19世纪末以前,像巴斯德、科赫等为现代发酵与酿造工业打下坚实基础的科学巨匠们,虽然揭示了发酵的本质,但还是没有认识发酵的化学本质,直到1897年,德国生物化学家——布赫纳(Buchner)的“无细胞发酵”才阐明了微生物发酵的化学反应本质。“无细胞体系”进行发酵的最初例子使人们认识到,任何生物都具有引起发酵的物质——酶。从而促成当代生物化学的诞生,也将生物化学和微生物学彼此沟通起来,大大扩展了发酵与酿造的范围,丰富了发酵与酿造的产品。但是,当时发酵与酿造技术并没有特别的改进,直到20世纪40年代借助于抗生素工业的兴起,建立了深层通气搅拌培养技术。主要是在大规模生产青霉素(penicillin)时,借鉴了丙酮、丁醇的纯种厌氧发酵技术,成功建立起深层通气培养法和一整套培养工艺,包括向发酵罐中通入大量无菌空气、通过搅拌使空气均匀分布、培养基的灭菌和无菌接种等,使微生物在培养过程中的温度、pH、通气量、营养物的供给都受到严格的控制。这些技术极大地促进了食品发酵与酿造工业的发展,各种有机酸、酶制剂、维生素、激素都可以借助于好氧性发酵进行大规模生产。因而,好氧性发酵工程技术成为发酵与酿造技术发展的第二个转折点。

但是,这一时期的发酵与酿造技术主要还是依赖对外界环境因素的控制达到目的,远远不能满足人们对发酵产品的需求。于是,一种新的技术——人工诱变育种和代谢控制发酵工程技术应运而生。人们以动态生物化学和微生物遗传学为基础,将微生物进行人工诱变育种,获得适合于生产某种产品的突变株,再在人工控制的条件下培养,有选择地大量生产人们所需要的物质。这一新技术首先在氨基酸生产上获得成功,而后在核苷酸、有机酸、抗生素等其他产品得到应用。可以说,人工诱变育种和代谢控制发酵工程技术是发酵与酿造技术发展的第三个转折点。

随着矿产物的开发和石油化工的迅速发展,微生物发酵产品不可避免地会与化学合成产品产生了竞争。矿产资源和石油为化学合成法提供了丰富而低廉的原料,这对利用这些原料生产一些低分子有机化合物非常有利。同时,世界粮食的生产又非常有限,且价格昂贵。因此,一定阶段,发达国家有相当一部分发酵产品改用合成法生产。但是由于对化工产品的毒性有所顾虑,化学合成食品类的产品,消费者是无法接受的,也是难以拥有广阔的市场的;另外,对一些复杂物质,化学合成法也是无能为力的。而生产的厂家既想利用化学合成法降低生产成本,又想使产品拥有较高的质量,于是就采用化学合成结合微生物发酵的方法。这样,就建立了化学合成与微生物发酵有机地结合的工程技术,形成了发酵与酿造技术发展的第四个转折点。

该时期的微生物发酵除了采用常规的微生物菌体发酵,很多产品还采用“一步酶法”转化,即仅仅利用微生物生产的酶进行单一的化学反应。例如,利用葡萄糖异构酶将葡萄糖转化为果糖的果葡糖浆的生产。所以,准确地说,这一时期是微生物酶反应生物合成与化学合成相结合的应用时期。

随着现代工业的迅速发展,食品发酵与酿造工程技术也得到了迅猛的发展,主要在发酵罐的大型化、多样化、连续化和自动化方面有了极大的发展。发酵过程的全部基本参数,包

括温度、pH、罐压、溶解氧、氧化还原电位、空气流量、CO₂ 含量等均可自动记录并自动控制的大型全自动连续发酵罐已付诸应用。发酵过程的连续化、自动化也成为这一时期重点发展的内容。

20 世纪 70 年代发展起来的 DNA 重组技术，又大大推动了发酵与酿造技术的发展。先是细胞融合技术，得到了许多具有特殊功能和多功能的新菌株，再通过常规发酵得到了许多新的有用物质。近年来，迅猛发展的基因工程技术，实现了体外重组生物细胞的基因，并克隆到微生物细胞中去构成“工程菌”，利用“工程菌”生产原来微生物不能生产的产物，如胰岛素、干扰素等，使微生物的发酵产品种类大大增加。可以说，发酵与酿造技术已经不再是单纯的微生物发酵，已扩展到植物和动物细胞领域，包括天然微生物、人工重组工程菌、动植物细胞等生物细胞的培养。随着转基因动植物的问世，发酵设备——生物反应器也不再是传统意义上的钢铁设备，昆虫的躯体、动物细胞的乳腺、植物细胞的根茎果实都可以看做是一种生物反应器。因此，随着基因工程、细胞工程、酶工程和生化工程的发展，传统的发酵与酿造工业已经被赋予崭新的内容，现代发酵与酿造技术已开辟了一片崭新的领域。

发酵与酿造工业发展历史阶段见表 1-1。

表 1-1 发酵与酿造工业发展历史阶段

时 间	阶 段	主 要 技 术
1900 年前	自然发酵阶段	天然接种
1900—1939 年	纯培养阶段	单种微生物分离和纯培养技术
1940—1956 年	通气培养阶段	好氧性发酵工程技术
1957—1959 年	代谢控制阶段	人工诱变育种和代谢控制发酵工程技术
1960—1978 年	全面发展阶段	微生物酶反应生物合成与化学合成相结合，生物反应器的连续化、自动化
1979 年至今	基因工程阶段	DNA 重组技术

二、食品发酵与酿造的特点以及与现代生物技术的关系

(一) 食品发酵与酿造的特点

发酵 (fermentation) 这一概念在不同的领域有不同的含义，对微生物学家来说，是个较广义的概念，微生物进行的一切活动都可以称为发酵；而对生物化学家来说，发酵仅仅是指厌氧条件下有机化合物进行不彻底分解代谢释放能量的过程。本书中的发酵都是广义的概念。

酿造则是我国劳动人民对一些特定产品进行发酵生产的一种称谓，通常把成分复杂、风味要求较高，诸如黄酒、白酒、啤酒、葡萄酒等酒类以及酱油、酱、食醋、腐乳、豆豉、酱腌菜等副食佐餐调味品的生产称为酿造；而将成分单一、风味要求不高的产品，如酒精、柠檬酸、谷氨酸、单细胞蛋白 (single cell protein, SCP) 等的生产称为发酵。

发酵与酿造工业与化学工业最大的区别在于它是利用生物体或生物体产生的酶进行的化学反应，其主要特点如下：

1. **安全、简单** 食品发酵与酿造过程绝大多数是在常温常压下进行的，生产过程安全，所需的生产条件比较简单。

2. **原料广泛** 食品发酵与酿造通常以淀粉、糖蜜或其他农副产品为主原料，添加少量

营养因子,就可以进行反应了。目前发酵与酿造的原料范围已大大扩展,矿产资源和石油产品都可以作为发酵与酿造的原料,甚至工业生产中的废水、废料都可以作为发酵与酿造的原料。

3. 反应专一 食品发酵与酿造过程是通过生物体的自动调节方式来完成,反应的专一性强。因而,可以得到较为单一的代谢产物,避免不利或有害副产物混杂其中。

4. 代谢多样 由于各种各样生物体代谢方式、代谢过程的多样性,以及生物体化学反应的高度选择性,总能在自然界找到所需的代谢产物,即使是极其复杂的高分子化合物。因此,发酵与酿造适应的范围非常广。

5. 易受污染 由于发酵培养基营养丰富,各种来源的微生物都很容易生长,发酵与酿造过程要严格控制杂菌污染,有许多产品必须在密闭条件下进行发酵,在接种前设备和培养基必须灭菌,反应过程中所需的空气或流加营养物必须保持无菌状态。发酵过程避免杂菌污染是发酵成功的关键。

6. 菌种选育 发酵与酿造最重要的因素是菌种,通过各种菌种选育手段得到高产的优良菌种是能否创造显著经济效益的关键。另外,生产过程中菌种会不断变异,因此,自始至终都要进行菌种的选育和优化工作,以保持菌种的基本特征和优良性状。

(二) 食品发酵与酿造和现代生物技术(工程)的关系

现代生物技术(工程)即应用生物体(微生物、动物细胞、植物细胞)或其组成部分(细胞器、酶),在最适条件下,生产有价值的产物或进行有益的过程的技术。它是一门涉及分子生物学、细胞生物学、遗传学、微生物学、化学、物理学、工程学的多学科、综合性的科学技术。

生物技术(工程)是靠基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程和生化工程这五大技术体系支撑起来的,这五大技术体系的关系见图 1-1。

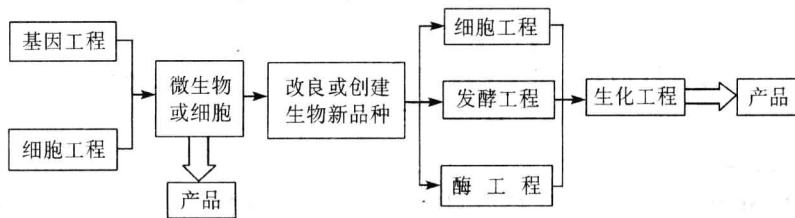


图 1-1 生物技术五大技术体系关系图

从图 1-1 中可以看出,五大工程是互相依赖、相辅相成的。基因工程是主导,虽然细胞工程、发酵工程、酶工程各有其自身的技术内容和发展领域,但只有用基因工程改造过的微生物细胞或动植物细胞,才能真正按照人类的意愿,生产出特定的产品。而发酵工程又常常是基因工程、酶工程的基础和必要条件,生化工程则是其他工程转化为生产力必不可少的重要环节。

食品发酵与酿造主要以发酵工程和酶工程为支撑,是利用微生物细胞或动植物细胞的特定性状,通过现代化工程技术,生产食品或保健品的一种技术。现代食品发酵与酿造技术是将传统的发酵与现代的生物技术(工程)结合在一起并发展起来的现代发酵技术。

实质上,现代发酵技术处于生物技术(工程)的中心位置,绝大多数生物技术的目标都是通过发酵工程来实现的。因此,生物技术的主要应用领域往往就是发酵工程的应用和研究