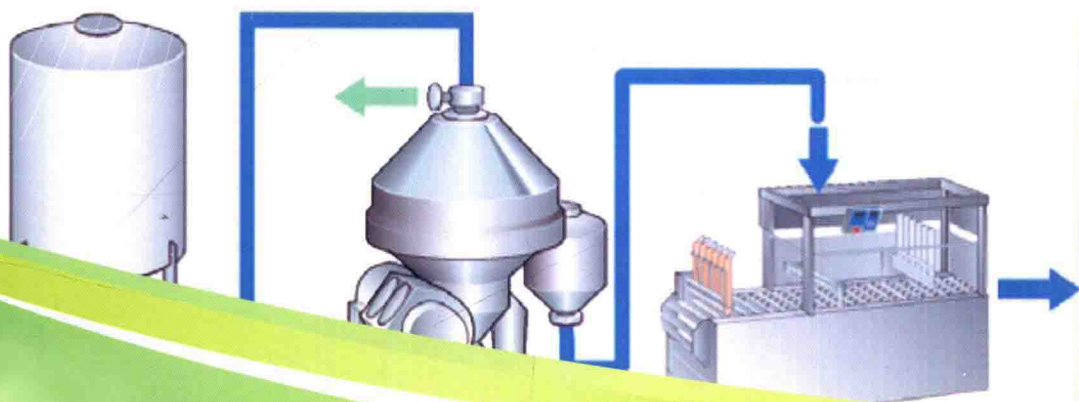
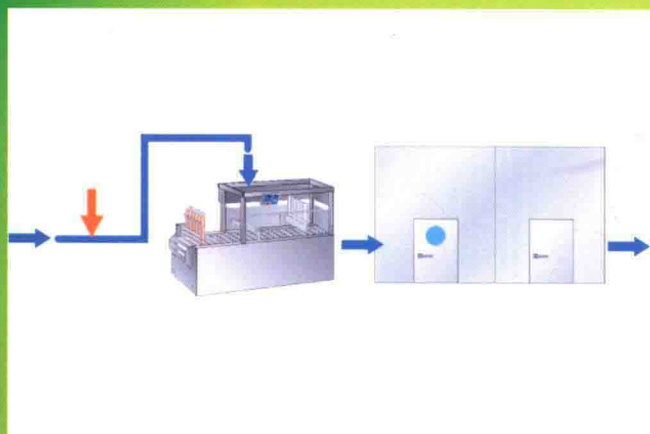




普通高等教育“十二五”规划教材
食品科学与工程系列教材

发酵食品工艺学

主 编 樊明涛 张文学
副主编 葛武鹏 朱丽霞



普通高等教育“十二五”规划教材

食品科学与工程系列教材

发酵食品工艺学

主 编 樊明涛 张文学

副主编 葛武鹏 朱丽霞

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分为15章,内容涵盖食品发酵共性技术、传统发酵食品和现代发酵食品的基础理论、基本技术,涉及发酵食品的多种产品,同时包括食品发酵企业的废物处理,力求通过对农产品原料的“综合”和“高效”利用,减少发酵企业的废物排放,实现经济效益与生态效益的和谐统一。

本书可供食品科学与工程、食品质量与安全、发酵工程、生物科学、生物技术等专业的学生作为教材使用,也可作为相关领域的科研、生产单位从业人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

发酵食品工艺学/樊明涛,张文学主编. —北京:科学出版社,2014.2
普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-039722-5

I. ①发… II. ①樊… ②张… III. ①发酵食品—生产工艺—高等学校—教材 IV. ①TS20

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2014)第020477号



责任编辑:杨岭 刘琳/责任校对:葛茂香
责任印制:邱志强/封面设计:陈思思

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

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年2月第一次印刷 印张:30 1/2

字数:720 000

定价:56.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《发酵食品工艺学》编委会

- 主 编:樊明涛(西北农林科技大学) 张文学(四川大学)
- 副主编:葛武鹏(西北农林科技大学) 朱丽霞(塔里木大学)
- 编 委:王伟华(塔里木大学) 王俊国(内蒙古农业大学)
- 王 雅(兰州理工大学) 毛相朝(中国海洋大学)
- 田建军(内蒙古农业大学) 朱传合(山东农业大学)
- 乔明武(河南农业大学) 孙万成(青海大学)
- 吴正云(四川大学) 张宝善(陕西师范大学)
- 张保军(内蒙古农业大学) 张 静(西北农林科技大学)
- 邵威平(甘肃农业大学) 杨希娟(青海大学)
- 陈忠军(内蒙古农业大学) 罗 璠(西南民族大学)
- 唐仁勇(成都大学) 郭秀兰(成都大学)
- 谢新华(河南农业大学) 魏新元(西北农林科技大学)

前 言

发酵食品历史悠久且具有丰富的营养价值和保健功能，深受广大消费者的喜爱，在食品工业和人们的日常生活中占据重要地位。我国地域广阔，农产品种类和气候差异较大，发酵食品种类多，口感和风味多样，极大地丰富了我国人民的日常生活。然而，我国发酵食品生产多采用传统工艺，总体技术含量及工业化程度低，劳动强度大，产品质量不稳定，技术发展相对滞后，亟须对传统的发酵工艺进行技术革新，整体提升水平，特别是在液体发酵中，采用无菌管道输送、自动接种、智能控制发酵、全自动灌装等技术，既能提高生产效率及产品品质，又能更好保证产品安全。近年来，生物技术、机械制造技术得到了迅猛发展，大批具有生产潜力的微生物菌种以及自动化程度高的发酵设备相继应用于发酵领域，极大地推动了传统发酵食品的工业化进程。

本书在汲取国内外相关教材的基础上，力求做到：理论体系完善，从微生物各种发酵的物质转化、代谢途径、微生物的保存选育一直到应用，都在各个章节有体现；理论联系实际，微生物各种代谢途径及对物质利用的原理尽可能贯穿在实际的发酵工艺中；内容取舍有度，尽量做到重点突出，层次分明，以新成果、新成就以及新知识替代陈旧的内容和实例。

本书共分为 15 章，由樊明涛、张文学等组织编写，编写分工如下：第 1 章发酵食品概述（樊明涛编写），第 2 章食品发酵的微生物学原理（朱丽霞编写），第 3 章食品发酵微生物的多样性（张文学编写），第 4 章食品发酵微生物菌种保藏与扩大培养（张宝善、樊明涛编写），第 5 章食品发酵生产的过程控制（毛相朝编写 5.1~5.3 节，王俊国编写 5.4~5.6 节），第 6 章食品发酵生产的后处理工艺（谢新华、乔明武编写），第 7 章发酵食品的质量分析检验（孙万成、杨希娟编写），第 8 章发酵酒类生产工艺（陈忠军编写 8.1 节，邵威平编写 8.2 节，朱传合编写 8.3 节，张保军编写 8.4 节），第 9 章发酵调味品与豆制品生产工艺（王雅编写），第 10 章发酵蔬菜生产工艺（吴正云、魏新元编写），第 11 章发酵肉与鱼制品生产工艺（唐仁勇、郭秀兰编写），第 12 章发酵乳制品生产工艺（葛武鹏、张静编写），第 13 章有机酸发酵（王伟华编写），第 14 章食品发酵工业废水的

生态化利用（罗璠编写），第 15 章食品发酵工业废渣的生态化利用（田建军编写）。全书最后主要由樊明涛、张文学审稿、统稿和定稿。

参加本书编写的人员均为国内多年从事发酵工艺学教学、科研的高校科技工作者，具有较丰富的经验，在编写过程中力求做到重点突出、言简意赅、科学系统、深入浅出、理论联系实际，但由于作者的学识和水平有限，加之生物技术已深入应用于食品发酵领域，涉及的范围很广泛，书中难免存在各种各样的缺陷、不足甚至错误，恳请读者不吝赐教，提出宝贵意见，以便今后在教学实践及再编中得以改正。

编者

2014 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 发酵食品概述	1
1.1 食品发酵现象及发酵过程的发展	1
1.2 发酵食品与食品发酵的基本概念	3
1.3 食品发酵的特点与发酵食品的主要种类及功能特性	4
1.3.1 食品发酵的特点	4
1.3.2 发酵食品的主要种类	5
1.3.3 发酵食品的主要功能特性	5
1.4 食品发酵的主要研究对象	6
1.4.1 按产业种类来分	6
1.4.2 按产品性质来分	7
1.5 食品发酵的发展趋势	8
第 2 章 食品发酵的微生物学原理	11
2.1 食品发酵过程的生化机理	11
2.1.1 微生物的生长繁殖及食物大分子物质的降解	11
2.1.2 微生物的中间代谢及小分子有机物的形成	13
2.1.3 食品产物成分的再平衡及发酵食品风味的形成	20
2.2 食物主要大分子物质的微生物利用及转化	20
2.2.1 淀粉的降解及相关酶类	20
2.2.2 脂质化合物的降解及相关的酶类	21
2.2.3 蛋白质及其生物降解	22
2.2.4 核酸的降解及相关的酶类	24
2.2.5 其他食物大分子物质的降解及相关酶类	25
2.3 食品微生物的主要代谢途径及发酵类型	28
2.3.1 由 EMP 途径进行的发酵	28
2.3.2 基于磷酸戊糖途径的发酵	30
2.3.3 基于 ED 途径的发酵	31
2.3.4 基于 TCA 途径的发酵	32

2.3.5	基于微生物的一些特殊代谢途径的发酵	33
第3章	食品发酵微生物的多样性	38
3.1	发酵乳制品	38
3.1.1	发酵乳制品中的微生物区系	38
3.1.2	发酵乳制品的微生物腐败及预防	40
3.2	发酵肉制品	41
3.2.1	发酵肉制品中的微生物区系	42
3.2.2	发酵肉制品的微生物腐败	42
3.3	豆类发酵食品	43
3.3.1	豆类发酵食品的主要微生物区系	44
3.3.2	豆类发酵制品的微生物腐败	46
3.4	蔬菜发酵制品	46
3.4.1	发酵蔬菜制品的主要微生物区系	46
3.4.2	蔬菜发酵制品的微生物腐败	48
3.5	发酵调味品	49
3.5.1	发酵调味品的主要微生物区系	49
3.5.2	发酵调味品的微生物腐败	51
3.6	葡萄酒	52
3.6.1	葡萄酒的主要微生物区系	52
3.6.2	葡萄酒的微生物病害	53
3.7	浓香型大曲酒窖池	55
3.7.1	浓香型白酒糟醅中微生物的研究	55
3.7.2	窖池微生态研究的发展趋势及展望	56
第4章	食品发酵微生物菌种保藏与扩大培养	59
4.1	食品发酵微生物菌种保藏与复壮	59
4.1.1	食品发酵微生物菌种的保藏方法	59
4.1.2	食品发酵菌种退化与复壮	61
4.2	食品发酵微生物菌种扩大培养的基本过程	63
4.2.1	食品发酵菌种扩大培养的目的、任务	63
4.2.2	食品发酵菌种扩大培养的类型和方法	64
4.2.3	食品发酵工业对微生物菌种的要求	64
4.2.4	食品发酵菌种扩大培养与级数确定	65
4.2.5	影响种子质量的主要因素	66
4.3	常见细菌类食品发酵菌种的扩大培养	68

4.3.1	谷氨酸发酵菌种的扩大培养	68
4.3.2	酸奶发酵菌种的扩大培养	71
4.3.3	食醋发酵菌种的扩大培养	72
4.3.4	常见酵母菌类发酵菌种的扩大培养	74
4.4	常见霉菌类发酵菌种的扩大培养	79
4.4.1	食品发酵常用霉菌分类及用途	79
4.4.2	霉菌类发酵菌种的扩大培养	81
4.4.3	柠檬酸生产菌种——黑曲霉的扩大培养	82
4.4.4	液体曲生产工艺	84
4.5	传统曲的制造	87
4.5.1	传统曲的分类及作用	87
4.5.2	常见传统曲的生产方法	87
第5章	食品发酵生产的过程控制	96
5.1	发酵的基本工艺过程	96
5.1.1	菌种活化与扩大培养	96
5.1.2	发酵原料的预处理与培养基制备	97
5.1.3	发酵液的处理	101
5.2	微生物发酵动力学	105
5.2.1	发酵动力学概述	105
5.2.2	分批发酵动力学	110
5.2.3	连续发酵动力学	116
5.2.4	补料分批发酵动力学	119
5.3	液态发酵及其工艺控制	121
5.3.1	发酵温度的影响与控制	121
5.3.2	pH 的影响与控制	123
5.3.3	发酵空气的影响及供氧的控制	124
5.3.4	CO ₂ 和呼吸商对发酵的影响及其控制	127
5.3.5	基质浓度对发酵的影响及其补料控制	128
5.4	固态发酵工艺及其控制	130
5.4.1	固态发酵的定义及特点	130
5.4.2	固态发酵的形式	130
5.4.3	固态发酵动力学	133
5.4.4	固态发酵工艺条件及过程控制	134
5.5	发酵过程的主要设备	136

5.5.1	固体发酵设备	136
5.5.2	液体发酵设备	142
5.5.3	培养基灭菌系统与设备	148
5.6	发酵终点的判断	152
第6章 食品发酵生产的后处理工艺		155
6.1	低温、后酵处理	155
6.1.1	发酵食品低温处理的主要方式	155
6.1.2	发酵食品的后酵作用	156
6.2	固液分离及萃取处理	156
6.2.1	发酵食品后处理中的固液分离技术及原理	156
6.2.2	发酵食品后处理中的萃取技术及原理	157
6.3	蒸馏、浓缩处理	157
6.3.1	发酵食品后处理中的蒸馏技术及原理	157
6.3.2	发酵食品后处理中的浓缩技术及原理	159
6.4	沉淀、结晶及干燥处理	160
6.4.1	发酵食品后处理中的主要沉淀、结晶技术	160
6.4.2	发酵食品后处理中的主要干燥技术	162
6.5	调配、腌制及陈贮处理	164
6.5.1	发酵食品后处理中的调配技术	164
6.5.2	发酵食品后处理中的腌制技术	165
6.6	加热、灭菌及罐藏处理	166
6.6.1	发酵食品加热处理的主要技术方式及目的	166
6.6.2	发酵食品灭菌处理的主要技术方式及目的	167
第7章 发酵食品的质量分析检验		169
7.1	发酵食品的取样方法	169
7.1.1	共同性技术方法及原则	169
7.1.2	特殊取样技术	170
7.1.3	发酵食品采样的要求	171
7.2	发酵食品的感官评价	172
7.2.1	感官评价的一般原则	172
7.2.2	食品感官评价的内容	172
7.3	主要发酵食品的感官评价	175
7.3.1	发酵肉制品的感官评价	175
7.3.2	发酵乳制品的感官评价	177

7.3.3	发酵酒制品的感官评价	179
7.4	发酵食品的风味成分分析	182
7.4.1	一般内容及原则	182
7.4.2	发酵食品风味的研究分析方法	183
7.4.3	主要发酵食品风味成分	183
7.5	发酵食品的质量控制及伪劣食品检查	189
7.5.1	发酵食品质量控制的一般内容及原则	190
7.5.2	发酵食品中掺假及检测技术	191
7.6	发酵食品安全及卫生管理	193
7.6.1	食品卫生管理	193
7.6.2	发酵食品卫生标准	194
7.6.3	影响发酵食品卫生的因素	194
7.6.4	发酵食品主要微生物指标	195
第8章	发酵酒类生产工艺	198
8.1	白酒的生产	198
8.1.1	白酒概述	198
8.1.2	白酒酿造原辅料	201
8.1.3	白酒发酵微生物及生物化学	205
8.1.4	大曲酒生产工艺	218
8.1.5	小曲酒生产工艺	241
8.1.6	麸曲酒生产工艺	245
8.1.7	白酒新技术及新型白酒生产工艺	247
8.2	黄酒的生产	251
8.2.1	黄酒概述	251
8.2.2	黄酒生产原料	252
8.2.3	黄酒酿造微生物及生物化学	254
8.2.4	传统黄酒酿造工艺	256
8.2.5	现代黄酒酿造工艺	257
8.3	啤酒的生产	259
8.3.1	啤酒的历史与发展	259
8.3.2	啤酒的分类	259
8.3.3	啤酒酿造的原料	261
8.3.4	啤酒发酵酵母及活化	263
8.3.5	啤酒发酵的生物化学	263

8.3.6	麦芽制造	266
8.3.7	麦汁制备	269
8.3.8	啤酒发酵	273
8.3.9	后处理	276
8.3.10	啤酒酿造新技术	277
8.4	葡萄酒生产	278
8.4.1	葡萄酒概述	279
8.4.2	葡萄酒生产原料	281
8.4.3	葡萄酒发酵微生物及生物化学	282
8.4.4	葡萄酒的发酵生产工艺	285
8.4.5	葡萄酒的后处理工艺	289
8.4.6	葡萄酒的包装、瓶贮	293
8.4.7	葡萄酒新技术	295
第9章	发酵调味品与豆制品生产工艺	299
9.1	酱油概述与酿造	299
9.1.1	酱油的分类	299
9.1.2	酱油酿造原料	300
9.1.3	酱油酿造微生物及生物化学	302
9.1.4	传统酱油酿造工艺	306
9.1.5	酱油酿制新工艺	311
9.2	食醋概述与酿造	312
9.2.1	食醋概述	312
9.2.2	食醋酿造原料	313
9.2.3	食醋酿造微生物及生物化学	314
9.2.4	固态发酵食醋生产工艺	316
9.2.5	液态发酵食醋生产工艺	318
9.2.6	果醋发酵工艺	321
9.3	豆腐乳概述与生产	323
9.3.1	豆腐乳的分类	323
9.3.2	豆腐乳的生产原料	324
9.3.3	豆腐乳酿造微生物及生物化学	325
9.3.4	豆腐坯制作	327
9.3.5	豆腐乳发酵工艺	329
9.4	发酵酱类概述与生产	331

9.4.1	发酵酱类概述	331
9.4.2	发酵酱类生产原材料	331
9.4.3	发酵酱类酿造微生物及生物化学	331
9.4.4	酿造酱类的质量保障措施	333
9.4.5	豆瓣酱酿造工艺	334
9.4.6	曲法面酱的酿造	336
9.5	日本纳豆、印尼天培和中国豆豉	337
9.5.1	日本纳豆的生产工艺	337
9.5.2	印尼天培的生产工艺	338
9.5.3	中国豆豉的生产工艺	339
9.5.4	纳豆、天培和豆豉生产工艺的比较	342
第10章	发酵蔬菜生产工艺	343
10.1	泡菜的生产	343
10.1.1	泡菜生产的原辅材料	344
10.1.2	泡菜酿造微生物及生物化学	344
10.1.3	泡菜的制作工艺	346
10.1.4	泡菜品质的保持和风味的调配	349
10.2	酱腌菜的生产	350
10.2.1	酱腌菜生产原材料	350
10.2.2	酱腌菜酿造微生物及生物化学	351
10.2.3	发酵酸菜制作工艺	353
10.2.4	腌黄瓜的酿造工艺	354
10.2.5	发酵橄榄制作工艺	355
10.2.6	韩国泡菜制作工艺	355
10.3	发酵蔬菜汁饮料的生产	356
10.3.1	发酵蔬菜汁饮料的生产原材料	356
10.3.2	蔬菜汁饮料发酵微生物及生物化学	356
10.3.3	发酵蔬菜汁饮料的生产工艺	356
第11章	发酵肉与鱼制品生产工艺	360
11.1	发酵香肠概述	360
11.1.1	发酵香肠生产	360
11.1.2	发酵香肠生产原材料	361
11.1.3	发酵香肠中的微生物及生物化学	362
11.1.4	欧美发酵香肠加工工艺	365
11.1.5	中国发酵香肠加工工艺	367

11.2	发酵火腿的生产	369
11.2.1	发酵火腿概述	369
11.2.2	发酵火腿生产原材料	369
11.2.3	发酵火腿中的微生物及生物化学	370
11.2.4	欧美发酵火腿生产工艺	372
11.2.5	中国发酵火腿生产工艺	374
11.3	发酵鱼制品生产	377
11.3.1	发酵鱼制品概述	377
11.3.2	腌腊鱼发酵制品	377
11.3.3	鱼露发酵制品	379
第 12 章	发酵乳制品生产工艺	383
12.1	酸奶概述与生产	383
12.1.1	制作发酵酸奶制品的基本要求	383
12.1.2	发酵乳与酸乳的概念及分类	384
12.1.3	风味发酵乳及风味酸奶	385
12.1.4	影响酸奶质量的因素	386
12.1.5	酸奶生产原料	386
12.1.6	酸奶发酵微生物及生物化学	387
12.1.7	主要酸奶品种生产工艺	392
12.1.8	新型酸奶	398
12.1.9	新型发酵乳制品	399
12.2	奶酪概述与生产	402
12.2.1	奶酪基础知识	402
12.2.2	奶酪生产原材料	404
12.2.3	奶酪生产中的微生物及生物化学反应	404
12.2.4	硬质和半硬质奶酪生产技术	408
12.2.4	奶酪标准	416
12.2.5	几种代表性奶酪加工工艺	416
12.2.6	特色奶酪加工工艺	419
12.3	乳酸菌饮料概述与生产	421
12.3.1	乳酸菌及益生菌的概念	421
12.3.2	乳酸菌饮料的概念	421
12.3.3	乳酸菌制剂的概念	422
12.3.4	乳酸菌饮料的分类	422

12.3.5	乳酸菌饮料的生产原材料	422
12.3.6	乳酸菌饮料的质量标准	424
12.3.7	乳酸菌饮料生产工艺	425
第13章	有机酸发酵	427
13.1	柠檬酸发酵	427
13.1.1	柠檬酸简介	427
13.1.2	生产原理	427
13.1.3	工艺过程及流程图	427
13.1.4	主要设备选择	429
13.1.5	主要用途及注意事项	430
13.2	乳酸发酵	431
13.2.1	同型乳酸发酵途径	431
13.2.2	异型乳酸发酵途径	432
13.3	苹果酸发酵	434
13.3.1	苹果酸简介	434
13.3.2	生产方法	434
13.3.3	苹果酸的应用	435
13.4	几种主要氨基酸发酵	436
13.4.1	谷氨酸发酵原理	436
13.4.2	赖氨酸发酵	439
13.4.3	苏氨酸发酵	444
13.4.4	色氨酸发酵	445
13.4.5	苯丙氨酸发酵	446
13.4.6	丙氨酸发酵	448
第14章	食品发酵工业废水的生态化利用	450
14.1	食品发酵工业的废水	450
14.1.1	废水的来源与性质	450
14.1.2	废水处理的基本方法	450
14.2	废水处理的生态化策略	455
14.2.1	废水的减量与清洁化生产	455
14.2.2	废水的生物转化与利用	456
14.3	废水资源的综合利用	456
14.3.1	单细胞蛋白生产	456
14.3.2	生物酶类生产	457

14.3.3	生物质能源生产	458
第 15 章	食品发酵工业废渣的生态化利用	460
15.1	食品发酵工业的废渣	460
15.1.1	废渣的来源与性质	460
15.1.2	废渣处理的基本方法	460
15.2	废渣处理的生态化策略	461
15.2.1	废渣的减量与清洁化生产	461
15.2.2	废渣的生物转化与利用	464
15.3	“废渣”资源的综合利用	465
15.3.1	生产饲料	465
15.3.2	食品及食品添加剂生产	467
15.3.3	有效成分的提取和再利用	470

第1章 发酵食品概述

中国有句俗语，“国以民为本，民以食为天，食以安为先”，这充分说明食品在人们日常生活中的重要性。自改革开放以来，我国大力发展经济和农业生产，基本解决了人们的食物数量安全问题，但随之出现了一系列的食品质量问题，在一定程度上制约了社会经济的发展，影响人们的身心健康。如何在发展的同时，提供既富有营养又食用安全的食品是当前迫切需要解决的问题之一，发酵食品也许可在这方面作出更多的贡献。

1.1 食品发酵现象及发酵过程的发展

发酵一词英文是 fermentation，源于拉丁语 ferver，发酵过程从表面上看伴随发热、发泡、翻涌等现象，在液体发酵时，上述现象特别明显，而在固体发酵时，不一定能看到发泡、翻涌现象，但有明显的发热，往往需要翻料以降温，这是人们最早对发酵现象的认识，如早期在黄酒和啤酒的酿制过程中，就是以气泡涨落作为发酵进程的标志。我国民间酿酒的历史，可以追溯到四千多年前，而在古文明发源地埃及，民间酿酒和醋的时期大约在三千年前，比我国要晚将近一千年。在古希腊的石刻上，记有酿酒的操作过程，古埃及人很早就掌握了面包制作和果酒酿制技术；北魏贾思勰的《齐民要术》（成书于公元 533~544 年）中，列有谷物制曲、制酱、酿酒、造醋和腌菜等工艺，这些都是人类自发地利用发酵技术生产食品的过程。虽然人们对发酵现象认识很早，但由于对发酵的本质没有认识，发酵过程的控制基本是凭经验进行的，因而发酵产品的质量不甚稳定，发展也比较缓慢。

人们对发酵现象的本质有初步认识得益于荷兰的列文虎克(Leeuwenhoek)对微生物世界的揭示。他用自制的单式显微镜首次观察到微小的生物个体，并且描述了它们的形态，但遗憾的是，他并没有将发酵现象与这些微小的生物联系起来，他的发现也没有引起人们的重视，用“自然发生说”解释发酵现象仍占主导地位。直到 1861 年，路易斯·巴斯德(Louis Pasteur, 1822~1895)利用曲颈瓶实验，把微生物和发酵真正地联系起来，彻底否定了“自然发生说”。巴斯德认为一切发酵都与微生物有关，经过大量的工作，他分离得到许多与发酵有关的微生物，并证明酒精发酵是由酵母引起的，乳酸发酵、醋酸发酵和丁酸发酵是由不同的细菌引起的，这为微生物的后续利用和许多分支学科的诞生奠定了坚实的基础。罗伯特·柯赫(Robert Koch, 1843~1910)建立了微生物的纯培养技术，他用固体培养基进行细菌的分离纯化，容易获得微生物的纯培养。微生物的纯培养技术使发酵过程易于控制，可以在培养料中人为接种微生物以获得发酵产品，而在巴斯德时期，发酵过程还不能利用纯种培养，基本都是混菌的自然发酵。

1897 年，德国爱德华·布赫纳(Eduard Buchner, 1860~1917)发现酵母破碎后的提