

Food

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列

普通高等教育“十三五”规划教材



发酵食品 工艺学

刘素纯 刘书亮 秦礼康 主编



化学工业出版社

非外借

Food

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列

普通高等教育“十三五”规划教材

发酵食品 工艺学

刘素纯 刘书亮 秦礼康 主编



化学工业出版社

·北京·

《发酵食品工艺学》以发酵和酿造食品的工业化生产为主线,注重现代生物技术及新设备在该领域的应用,内容包括发酵食品微生物及其生化机理与发展,发酵豆类食品、发酵粮食食品、发酵果蔬食品、发酵畜产食品现代生产工艺参数及产品质量标准,并对其安全生产管理进行了概述。全书内容丰富,理论全面、系统,工艺翔实,着力反映了当前学科新成就。

本书适用于食品科学与工程、应用生物工程、发酵工程、农产品贮运与加工等专业的大学本科及研究生的课程教学使用,也可供从事食品发酵、食品加工及相关学科的研究者和生产者参考应用。

图书在版编目(CIP)数据

发酵食品工艺学/刘素纯,刘书亮,秦礼康主编. —北京:化学工业出版社,2018.11
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-33129-8

I. ①发… II. ①刘…②刘…③秦… 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(2018)第230478号

责任编辑:魏巍 赵玉清
责任校对:边涛

文字编辑:周侗
装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:北京国马印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 $\frac{1}{4}$ 字数379千字 2019年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.80元

版权所有 违者必究

本书编写人员名单

- | | | |
|--------|-----|--------|
| 主 编 | 刘素纯 | 湖南农业大学 |
| | 刘书亮 | 四川农业大学 |
| | 秦礼康 | 贵州大学 |
| 副主编 | 胡亚平 | 湖南农业大学 |
| | 李云成 | 成都大学 |
| 其他参编人员 | 张 良 | 西华大学 |
| | 胡治远 | 湖南城市学院 |
| | 胡欣洁 | 四川农业大学 |

前言

发酵食品生产历史悠久，种类繁多，口感和风味多样，而且具有丰富的营养价值和保健功能，在食品工业和人们的日常生活中占据重要的地位。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。在传统发酵食品的生产中运用现代高新技术实现生产的现代化，是对传统发酵食品精髓的继承、发扬和发展，极大地推进发酵食品的工业化。

本书在吸取国内外相关教材的基础上，做到了理论和结构体系完善，从微生物的选育保藏及扩大培养到食品发酵过程的生化机理再到在各种原料中的运用，以发酵食品的工业化生产为主线，注重现代生物技术和食品安全知识在该领域的应用，重点突出，层次分明，以新成果、新技术、新法规、安全管理等替代了陈旧的工艺和实例。全书内容丰富，理论全面、系统，工艺翔实，反映了当前学科新成就。

该教材适用于高等院校的食品科学与工程、食品质量与安全、生物技术、应用生物工程、发酵工程、农产品贮运与加工、应用微生物等专业的大学本科及研究生的课程教学使用，也可供从事食品发酵、食品加工及相关学科的研究者和生产者参考应用。

本书共分五章，由刘素纯、刘书亮等组织编写，编写分工如下：绪论由秦礼康编写，第一章由刘书亮和秦礼康编写，第二章由李云成和胡治远编写（李云成完成第一～四节，胡治远完成第五～七节），第三章由胡欣洁、张良和李云成编写（胡欣洁完成第一、三、四节，张良完成第二节，李云成完成第五、六节），第四章由张良编写，第五章由刘素纯、胡治远和胡亚平编写（刘素纯完成第一节，胡治远完成第二节，胡亚平完成第三、四节）。胡治远和学生罗源参与大部分图的绘制。全书的整理、绘图、统编和定稿由刘素纯负责。

参加本书编写的人员均为国内多年从事发酵食品工艺学教学、科研的具有较丰富经验的高校科技工作者，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，实用性强。由于编者学识水平有限，加之此

领域发展迅速，涉及内容范围较广，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，并提宝贵意见，以便今后修订时得以斧正。

言 甫

编者

2018年4月

。对... 领域... 发展... 迅速... 涉及... 内容... 范围... 较广... 书中... 疏漏... 和... 不妥... 之处... 在所... 难免... 恳请... 读者... 批评... 指正... 并提... 宝贵... 意见... 以便... 今后... 修订... 时得... 以斧... 正。

。对... 领域... 发展... 迅速... 涉及... 内容... 范围... 较广... 书中... 疏漏... 和... 不妥... 之处... 在所... 难免... 恳请... 读者... 批评... 指正... 并提... 宝贵... 意见... 以便... 今后... 修订... 时得... 以斧... 正。

。对... 领域... 发展... 迅速... 涉及... 内容... 范围... 较广... 书中... 疏漏... 和... 不妥... 之处... 在所... 难免... 恳请... 读者... 批评... 指正... 并提... 宝贵... 意见... 以便... 今后... 修订... 时得... 以斧... 正。

。对... 领域... 发展... 迅速... 涉及... 内容... 范围... 较广... 书中... 疏漏... 和... 不妥... 之处... 在所... 难免... 恳请... 读者... 批评... 指正... 并提... 宝贵... 意见... 以便... 今后... 修订... 时得... 以斧... 正。

。对... 领域... 发展... 迅速... 涉及... 内容... 范围... 较广... 书中... 疏漏... 和... 不妥... 之处... 在所... 难免... 恳请... 读者... 批评... 指正... 并提... 宝贵... 意见... 以便... 今后... 修订... 时得... 以斧... 正。

目 录

绪论 发酵食品概述 / 1

一、发酵食品与食品发酵的概念	1
二、食品发酵的特点	3
三、发酵食品的发展历史、现状及发展趋势	4
思考题	6
参考文献	7

第一章 发酵食品微生物及其生化机理 / 8

第一节 发酵食品微生物种类与用途	8
一、发酵食品常用的细菌及用途	8
二、发酵食品常用的酵母菌及用途	10
三、发酵食品常用的霉菌及用途	11
思考题	12
第二节 发酵食品微生物菌种选育保藏及扩大培养	13
一、发酵食品微生物菌种的选育	13
二、发酵食品微生物菌种的衰退	23
三、发酵食品微生物菌种的复壮	24
四、发酵食品微生物菌种的保藏	25
五、发酵食品微生物菌种的扩大培养	25
思考题	29
第三节 食品发酵过程的生化机理	29
一、微生物的生长繁殖及食物大分子的降解	29
二、微生物的中间代谢及小分子有机物的形成	34
三、食品产物成分的再平衡及发酵食品风味的形成	37
思考题	39
参考文献	39

第二章 发酵豆类食品生产工艺 / 40

第一节 酱油	40
--------	----

一、酱油概述	40
二、酱油生产的原料	42
三、酱油生产用的微生物及生化机制	44
四、酱油现代生产流程及技术参数	48
五、酱油成品质量标准	59
思考题	59
第二节 豆豉	60
一、豆豉概述	60
二、豆豉生产的原料	61
三、豆豉的生产原理	61
四、豆豉生产工艺	61
五、豆豉成品质量标准	63
思考题	64
第三节 豆酱	64
一、豆酱概述	64
二、豆酱生产的原料	65
三、豆酱生产用的微生物及生化机制	65
四、豆酱现代生产流程及技术参数	66
五、豆酱成品质量标准	68
思考题	69
第四节 腐乳	69
一、腐乳概述	69
二、腐乳生产的原料	70
三、腐乳生产用微生物及生化机制	71
四、腐乳现代生产流程及技术参数	72
五、腐乳成品质量标准	76
思考题	76
第五节 纳豆	76
一、纳豆概述	76
二、纳豆生产的原料	78
三、纳豆生产用的微生物及生化机制	78
四、纳豆现代生产流程及技术参数	79
五、纳豆成品质量标准	80
思考题	81
第六节 丹贝	81
一、丹贝概述	81
二、丹贝生产的原料	82
三、丹贝生产用的微生物及生化机制	83
四、丹贝现代生产流程及技术参数	84
五、丹贝成品质量标准	85
思考题	86

第七节 味噌	86
一、味噌概述	86
二、味噌生产的原料	89
三、味噌生产用的微生物及生化机制	89
四、味噌现代生产流程及技术参数	89
五、味噌成品质量标准	91
思考题	91
参考文献	91

第三章 发酵粮食食品生产工艺 / 94

第一节 黄酒	94
一、黄酒概述	94
二、黄酒生产的原料	95
三、黄酒生产用的微生物及生化机制	95
四、黄酒现代生产流程及技术参数	107
五、黄酒成品质量标准	109
思考题	112
第二节 食醋	112
一、食醋概述	112
二、食醋生产的原料	113
三、食醋生产用的微生物及生化机制	114
四、食醋现代生产流程及技术参数	116
五、食醋成品质量标准	119
思考题	119
第三节 蒸馏酒	120
一、蒸馏酒概述	120
二、蒸馏酒生产的原料	122
三、蒸馏酒生产用的微生物及生化机制	124
四、蒸馏酒现代生产流程及技术参数	126
五、蒸馏酒产品质量标准	129
六、蒸馏酒的安全性及清洁化生产	131
思考题	132
第四节 啤酒	132
一、啤酒概述	132
二、啤酒生产原料	134
三、啤酒生产用的微生物及生化机制	137
四、啤酒现代化生产流程及技术参数	139
五、啤酒产品质量标准	141
六、啤酒的安全性及清洁化生产	143
思考题	144

第五节 面包	144
一、面包概述	144
二、面包生产的原料	145
三、面包生产用的微生物及生化机制	147
四、面包现代生产流程及技术参数	147
五、面包成品质量标准	149
思考题	150
第六节 馒头	150
一、馒头概述	150
二、馒头生产的原料	153
三、馒头生产用的微生物及生化机制	153
四、馒头现代生产流程及技术参数	154
五、馒头成品质量标准	156
思考题	157
参考文献	157

第四章 发酵果蔬食品生产工艺 / 159

第一节 发酵型果酒	159
一、果酒概述	159
二、果酒生产的原料	160
三、果酒生产用的微生物及生化机制	162
四、果酒现代生产流程及技术参数	163
五、果酒成品质量标准	165
六、果酒的安全性及清洁化生产	165
思考题	167
第二节 泡菜	168
一、泡菜概述	168
二、泡菜生产的原料	169
三、泡菜生产用的微生物及生化机制	170
四、泡菜现代生产流程及技术参数	172
五、泡菜成品质量标准	174
六、泡菜的安全性及清洁化生产	175
思考题	176
第三节 酱腌菜	177
一、酱腌菜概述	177
二、酱腌菜生产的原辅料	178
三、酱腌菜生产用的微生物及生化机制	179
四、酱腌菜现代生产流程及技术参数	182
五、酱腌菜成品质量标准	183
六、酱腌菜的安全性及清洁化生产	183

思考题·····	185
参考文献·····	185

第五章 发酵畜产食品生产工艺 / 187

第一节 酸奶 ·····	187
一、酸奶概述·····	187
二、酸奶生产的原料·····	190
三、酸奶生产用的微生物及生化机制·····	191
四、酸奶现代生产流程及技术参数·····	195
五、酸奶成品质量标准·····	197
六、酸奶的安全性及清洁化生产·····	199
思考题·····	200
第二节 干酪 ·····	201
一、干酪概述·····	201
二、干酪生产的原料·····	203
三、干酪生产用的微生物及生化机制·····	204
四、干酪现代生产流程及技术参数·····	207
五、干酪成品质量标准·····	210
六、干酪的安全性及清洁化生产·····	210
思考题·····	212
第三节 发酵香肠 ·····	212
一、发酵香肠概述·····	212
二、发酵香肠生产的原辅料·····	214
三、发酵香肠生产用的微生物及生化机制·····	216
四、发酵香肠现代生产流程及技术参数·····	219
五、发酵香肠成品质量标准·····	220
六、发酵香肠的安全性生产问题·····	221
思考题·····	222
第四节 火腿 ·····	222
一、火腿概述·····	222
二、火腿生产的原料·····	223
三、火腿生产用的微生物及生化机制·····	223
四、火腿现代生产流程及技术参数·····	225
五、中式火腿成品质量标准·····	228
六、火腿的安全性分析·····	229
思考题·····	230
参考文献·····	230

绪 论

发酵食品概述

一、发酵食品与食品发酵的概念

发酵一词英文 fermentation 源于拉丁文 fervere (发泡)，发泡是早期判断发酵进程的标志，从表面上看，发酵伴随着热量的产生、发泡的翻涌等现象。我国民间利用发酵技术酿酒可以追溯到 4000 多年前，在很早以前就学会利用谷物制曲、制酱、酿酒、酿醋和腌菜等工艺生产食品。

现代生物和化学意义上的发酵是指微生物作用于各种有机物产生能量的过程，严格地讲发酵即有机物作为电子受体的氧化还原产能反应。现代生物学家把利用微生物在有氧或无氧条件下生命活动大量生产或积累微生物细胞、酶类和代谢产物的过程统称为发酵。发酵食品是指食品基质被可食用微生物自然入侵或人工接种，利用自身繁殖代谢和分泌的各种酶类，对蛋白质、多糖、脂肪等高分子物质进行明显生化改良而形成的无毒产品。发酵食品历史悠久、产品种类繁多，主要包括酒精类饮料（白酒、黄酒、果酒和啤酒）、乳制品（酸奶、奶酪）、豆制品（腐乳、豆豉和纳豆）、发酵蔬菜（泡菜、酸菜）、发酵调味品（醋、酱油、味精、酱、豆瓣）、发酵面制品（馒头、面包）和发酵肉制品（发酵肠类）等。发酵食品生产过程中，微生物能将初级农产品中的成分转化成另一种成分，如在酒类饮料生产过程中，酵母菌能将糖类转化为酒精，以及其他赋予白酒特征香气的成分；豆制品生产中利用曲霉产生的蛋白酶降解大豆中的蛋白质；发酵蔬菜生产中利用乳酸菌分解蔬菜中的糖类产生乳酸；发酵面制品中酵母产生的二氧化碳能使产品疏松、改善产品的质地。发酵食品不仅能给人们提供所需的营养成分，其中繁杂的微量成分不仅赋予食品特征的香气，还为人体提供各种保健功能。

酿造本质上也是通过微生物的作用转化有机物的过程。酿造注重的是对复杂成分的转化，酿造过程所发生的各种反应及产物都极其复杂，并能产生繁杂的微量成分，赋予酿造食品浓郁的特征风味。一般情况下，酿造食品不需要进行下游的分离、纯化等过程，进行简单的处理后即可食用，如酒精饮料（黄酒、啤酒和葡萄酒等）和调味品（酱油、食醋、豆腐乳和纳豆等）。现代发酵工业中，通过发酵技术大规模生产某种成分构成单一的产品时，需要对产品进行后续的分离、纯化处理，这类产品

包括酒精、柠檬酸和谷氨酸等。

微生物是发酵过程的主要行使者，发酵工业中常用的微生物包括霉菌、细菌和酵母菌。

霉菌分布广泛、繁殖能力强，自然界中霉菌主要依靠孢子进行繁殖，霉菌具有分解淀粉、蛋白质、纤维素和脂肪等成分的能力，在食品发酵过程中利用黑曲霉制作麸曲，米曲霉酿造酱油。

酵母菌属于单细胞兼性厌氧菌，在有氧情况下能将糖类转化为二氧化碳和水，在缺氧情况下能将糖类转化为二氧化碳和酒精。酵母本身也是一种产品，食用酵母分为面包酵母、食品酵母和药用酵母。

细菌广泛分布于自然界中，在食品发酵领域细菌也同样有着广泛的应用，醋的生产就是利用醋酸菌 (*Acetobacter*) 发酵使酒转化为醋；乳链球菌 (*Streptococcus lactis*) 可将葡萄糖转化为右旋乳酸，常应用于乳制品工业；保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus*)、嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*)、两歧双歧杆菌 (*Bifidobacterium bifidum*) 和嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*) 等用来生产发酵乳制品。

按照发酵过程中微生物对氧的需求不同，发酵可分为厌氧发酵、需氧发酵和兼性厌氧发酵。厌氧发酵是指微生物在整个发酵过程中无需供给氧气；需氧发酵是指微生物在发酵过程中必需供给一定量的氧气，现代发酵工业中大部分属于需氧发酵，如谷氨酸发酵、柠檬酸发酵和抗生素发酵；兼性厌氧发酵是指微生物在有氧条件下进行生长繁殖，在厌氧条件下积累代谢产物，酵母菌就属于兼性厌氧。按照培养基的状态，发酵又分为液态发酵和固态发酵。液态发酵的培养基呈液态，液态发酵易进行大规模工业化生产，生产效率高。现代发酵工业中的有机酸、酶制剂和抗生素等都实行液态发酵。固态发酵是指培养基呈固态，整个发酵体系几乎没有自由水存在，固态发酵通常以农副产品为原料，是古老的发酵技术，传统的发酵食品如制酱和酿酒都采用固态发酵。

发酵食品除了营养丰富、风味独特、保存期长等特点外，还具有一系列的保健功能。发酵食品生产过程中微生物作用保留了食品中原有的功能性成分，如多糖、酚类化合物和膳食纤维等成分。发酵食品中的功能性成分包括：①有益的微生物（如乳酸菌、酵母菌）；②多肽、氨基酸、多糖和低聚糖等；③酚类化合物及其他具有抗氧化、抗癌、降胆固醇和降血压等对人体健康有益的功能性成分。另外，微生物作用还能分解原料中对健康不利的成分，如豆类中的低聚糖、胀气因子和豆腥味成分等。据报道，发酵食品有预防肿瘤的功效，含有益生菌的发酵食品能维持肠道内菌群平衡，改善胃肠功能。另外，发酵食品碳水化合物、脂肪含量低，属于低热量食品，食用后不易发胖。

食品发酵是指利用微生物在一定的培养条件下对食品原料转化生成发酵食品的过程，食品发酵是一类重要的食品加工方式。食品发酵产品有如下几种。

(1) 微生物代谢产物 微生物吸收外界物质进行新陈代谢，代谢过程中，生物体进行着各种繁杂的生物合成反应形成代谢产物，这些产物包括初级代谢产物和次级代谢产物。以代谢产物为主的产品数量最多、产量最大，也是发酵工业中重要的产品。初级代谢产物或中间代谢产物包括各种氨基酸、核苷酸、蛋白质、核酸、脂类、糖类、醇类和酸类等。次级代谢产物是由初级代谢的中间体或产品合成的，有些次级代谢产物具有抑制或杀灭微生物的作用（如抗生素），有些是特殊的酶抑制剂，有些是生长促进剂。

(2) 酶制剂 食品工业中所用的酶大部分是微生物产生的胞内酶和胞外酶通过分离、纯化得到的成分较单一的酶制剂。例如 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、糖化酶、纤维素酶、碱性蛋白酶、酸性蛋白酶、中性蛋白酶、果胶酶、脂肪酶、凝乳酶、过氧化氢酶、青霉素酰化酶、胆

固醇氧化酶、葡萄糖氧化酶、氨基酰化酶等。另外，酿酒工业、传统酿造工业等生产中应用的各种曲的生产也相当于酶制剂的生产。

(3) 菌体 菌体制造是通过发酵技术生产一种具有特定用途的生物细胞的过程。传统的菌体发酵主要应用于面包工业的酵母培养和人类食品的微生物菌体发酵（单细胞蛋白）。现代发酵技术则大大扩展了应用范围，属于食品发酵范围的为酵母培养、单细胞蛋白培养和藻类、食用菌的发酵。酵母菌既可用于酿造工业，又用来作为人类或动物的食物。藻类含有丰富的维生素和必需氨基酸以及含量高的蛋白质，其营养价值超过农作物，有些藻类含有许多生物活性物质被用来制作保健品。食用菌的营养保健状况与藻类类似，但食用菌菌丝体发酵很少被用作食物和饲料，主要被用来制备保健品或用作生产菌种，如冬虫夏草、蜜环菌、灵芝、茯苓、香菇等都已大规模发酵生产。活性乳酸菌制剂是在干燥菌体中加入了活性保护物质，用以提高人体的整肠作用，也是菌体直接作用的一种体现。

二、食品发酵的特点

食品发酵是一种重要的食品加工技术，食品原料经过发酵后，营养成分、贮藏期和食品风味都得到了极大的改善，提高了食品的营养价值和经济价值。食品发酵具有以下特点：

(1) 设备要求简单，生产过程安全。食品发酵一般是在温和（常温和常压）的条件下进行，反应过程是微生物的自身代谢调节过程，多个反应可在同一个容器中进行。

(2) 原材料来源广泛。发酵使用的原料多以淀粉、糖蜜等碳水化合物为主，水果、蔬菜、谷物、肉制品和乳制品以及其他形式的食品都可以作为食品发酵的原材料，原材料不必经过复杂的预处理，另外还可以利用农产品加工的副产物甚至废弃物作为原料。

(3) 产物较单一。食品发酵是通过微生物产生的酶来实现的，酶促反应具有高度的专一性，从而能有选择性地将底物转化为代谢产物，并产生很多化学工业难以合成的复杂化合物（如酶、活性成分），产物较单一，有利于后续的分选纯化。

(4) 适应范围广。发酵微生物的种类繁多，大部分化合物都可以找到对应的能将其降解的微生物。另外，微生物菌体本身也可以作为发酵产物（富含蛋白质、维生素和酶的单细胞蛋白）。

(5) 发酵条件要求无菌。现代发酵过程一般都是纯种培养，且发酵原料营养丰富，发酵过程易被杂菌污染。因此，在发酵过程中设备、原料都必须进行严格的灭菌处理，发酵所用的空气也必须是无菌空气。

(6) 菌种优化。菌种选育是决定发酵过程的重要因素，在一定的设备条件下，通过自然筛选、诱变、基因工程等技术获得发酵性能优良的菌种既可以提高原料的利用率，还可以生产出质量优良的发酵产品，从而提高经济效益。

(7) 在大规模发酵工业生产中采用大型化、自动化和连续化提高了生产效率和产品的质量。

食品发酵工程同样也面临一些问题：

(1) 菌种、发酵工艺等方面的改进能提高原料的利用率，但不能使微生物完全转化底物，因此未利用的原料回收仍是需要关注的问题。另外，微生物代谢通常会产其他的副产物，目标产物和副产物的分离也是食品发酵工程下游阶段需要重点研究的内容。

(2) 发酵过程采用的菌种都是活细胞，活细胞的活性受自身因素和外界环境两方面的影响，因此在发酵过程中各项发酵条件参数必须精准控制。

(3) 食品发酵工程涉及灭菌、空气输送、传热和传质等方面的过程,因此发酵过程还需要一些辅助的设备,如空气净化系统、空气压缩机、灭菌系统和泵等。

三、发酵食品的发展历史、现状及发展趋势

(一) 发酵食品的发展历史

发酵是最古老的食物加工方式之一,发酵食品的产生最初是为了延长产品的保质期,是一种经典的食物保藏方法。目前,全世界利用不同食物基质和多种微生物已生产出大量独特的发酵食品,主要包括肉、奶、谷物、豆类、蔬菜和茶等几大类,这些发酵食品以家庭作坊、小规模食品厂甚至大型商业公司等方式生产,在发展中国家和工业化国家都广泛存在。发酵食品占世界膳食消费的30%~40%,已成为人类营养供给的主要来源。

人类利用微生物发酵生产食物已有几千年的历史,但真正开始认识发酵却是近几百年的事。1680年,列文虎克第一次观察到完整的酵母细胞;1854年,法国化学家巴斯德发现酵母的发酵作用是酒精发酵的真正原因;1897年,德国化学家毕希纳发现碳水化合物发酵的本质是酵母菌所含的各种酶。

(1) 自然发酵时期 自然发酵时期,人们尚未完全认识发酵过程,此时期的发酵生产活动全凭经验,多为非纯种培养,发酵产品易被杂菌污染。这一时期我们的祖先就已经开展了各种形式的发酵生产活动:在夏代初期,人们开始用黏高粱酿酒,在龙山文化时期已有酒器的出现,这些发酵活动距今约有4000年的历史;在公元前1000多年的殷商时代已有酿酒、制醋的文字记载;在2000多年前的汉武帝时代开始有了葡萄酒和白酒。这一时期的发酵食品还有酱油、酸乳、泡菜、干酪和腐乳等。

这一时期,世界其他地区也出现了关于发酵生产过程的记载,公元前6000年,古巴比伦人开始利用发酵方法酿造啤酒;公元前4000~公元前3000年,古埃及人已掌握了酒、醋和面包的发酵制法;公元前2500年,古巴比伦人开始利用发酵技术制作酸奶;公元前2000年,古希腊人和古罗马人将葡萄通过微生物发酵酿造葡萄酒。

(2) 纯培养技术时期 纯培养技术可以说是近代发酵技术的建立,这一时期人们开始逐渐弄清了发酵的本质。这一时期人们通过显微镜技术观察到了微生物,之后发现碳水化合物发酵的本质是酵母菌所含的各种酶。19世纪末德国的科赫发明了固体培养基,建立了微生物的分离和纯种微生物的培养技术,这为人为调控发酵过程以及生产不同发酵产品奠定了基础,同时极大地推动了发酵技术的工业化。丹麦科学家Hansen分离出了单个酵母细胞,并发明了啤酒酵母的纯培养法,并率先在啤酒行业实现大规模工业化生产。纯培养技术易扩大培养,实现工业化生产,无菌操作技术能保证发酵过程的质量控制,从而提高了产品的质量。这一时期的发酵产品主要是一些厌氧发酵和表面固体发酵的初级代谢产物,如酵母、酒精、丙酮、丁醇、甘油、有机酸和淀粉酶等。纯培养技术标志着人类从自然发酵向纯培养人工控制发酵的转折,是发酵工业发展的第一个转折,同时也是近代发酵技术的开端。

(3) 通气搅拌深层发酵技术时期 纯培养技术的发展极大地推动了发酵生产的规模,生产规模开始由作坊式向工业化转化。纯培养技术进行的主要是一些厌氧发酵和表面发酵,这种发酵方式在进一步扩大发酵时会出现供氧不足、占地面积大等情况。通气搅拌深层发酵技术是对青霉素极大需求情况下发展起来的。第二次世界大战期间对青霉素的需求量极大,早期的青霉素生产采用表面发酵培养法,这种方法产量低。出于大规模生产的需要,最终研制

出带有通气和搅拌装置的发酵罐，同时还解决了大量培养基和生产设备的灭菌和无菌空气的制备问题。通气搅拌深层发酵技术的建立标志着好氧菌的发酵生产走上了大规模的产业化道路。

在青霉素发现之后，科学家们相继发现了金霉素、土霉素、红霉素、四环素、卡那霉素、利福霉素、柱晶白霉素、麦迪霉素、螺旋霉素和庆大霉素等抗生素。抗生素产业的兴起促进了大型通气搅拌发酵设备的研制，也开发出许多新的发酵工艺，这为其他发酵产品如酶制剂、维生素、有机酸和氨基酸等微生物代谢产品的生产提供了基础。通气搅拌深层发酵技术的建立被认为是发酵工业发展史上的第二个转折点。

(4) 代谢控制发酵技术时期 随着人们对微生物代谢途径的进一步了解，人们开始通过代谢调控手段进行微生物菌种选育和发酵条件控制。根据产物的分子结构、生物合成路径和调控机制设计菌种的代谢路径，同时与传统的诱变育种相结合获得所需要的菌种，这样可以提高产品的产率。

利用 DNA 重组技术构建工程菌，这一方面可以提高产品的发酵水平，另一方面可以通过将外源基因导入微生物细胞生产出原有微生物所不能生产的产品。这些产品包括疫苗、单克隆抗体、免疫调节剂和激素等，极大扩大了发酵产品的种类。

(5) 开拓发酵原料时期 传统的发酵工业是以谷物、蔬菜等农产品为糖基发酵原料，随着发酵工业的发展，发酵产品的应用越来越广泛，人们急需寻找新的糖质原料。石油化工副产物是良好的发酵原料，在成本上有极大的优势。另外，秸秆和玉米芯等生物质原料发酵生产酒精是解决未来能源危机的有效办法，采用工程菌进行发酵是该研究领域主要的研究方向。美国现已把纤维废料制取乙醇作为可再生能源战略的重要项目。

(二) 发酵食品的现状与发展趋势

在全世界范围内，欧洲和北美洲的发酵食品产量最大，亚洲、南美洲次之，非洲和大洋洲最少。不同地区发酵食品的种类也有一定的差异，常见的发酵食品有发酵乳制品、发酵豆制品、发酵肉制品等。欧洲主要以发酵乳制品和发酵肉制品为主，中东以发酵乳制品为主，发酵豆制品和发酵肉制品次之；东亚和东南亚以发酵豆制品为主，发酵乳制品次之；北非和大洋洲以发酵乳制品为主，发酵豆制品次之。

近年来，随着我国经济的飞速发展，发酵食品产业也呈快速增长的态势，传统发酵酒精饮料、调味品及风味食品仍受到民众的青睐。然而目前我国发酵食品的工业化程度低下，只有白酒、啤酒和调味品等产品实现了工业化，许多具有特征风味的特色发酵食品仍处于作坊式生产规模，而西方的发酵食品奶酪、酸奶、啤酒、葡萄酒和香肠等都已实现了工业化。另外，我国发酵食品行业还存在产业结构不合理、经济效益低下、产品质量不稳定及难以标准化等方面的问题。因此，亟须引入新的技术从菌种筛选、发酵工艺优化和产品质量标准化等方面着力解决发酵食品行业存在的问题。

食品发酵已融入了微生物学、化学、工程学、细胞生物学、分子生物学和遗传学等学科的知识。食品发酵与发酵工程技术紧密相连，从发酵工程技术及其他相关学科的发展趋势来看，食品发酵技术应注重以下几个方面的发展。

(1) 筛选诱导培育优良菌种 微生物是发酵过程中的主要行使者，优良菌种对原料的转化率及产品质量都尤为重要。可从发酵产品、原料筛选出优良菌种，也可以通过诱导处理获得菌种。随着生物技术的发展也可以利用 DNA 重组技术构建工程菌，这种工程菌可以生产出普通微生物不能生产的产品。

(2) 动植物组织培养 动植物组织能产生许多普通微生物不能产生的产品。这些产品除了部分的激素、疫苗外,有些产品是食品中存在的,如色素、黄酮类化合物、调味成分和香料成分等。这些产品可以用于生产功能性食品和调味品,如果用普通的提取法制备需要消耗大量的原料,利用发酵技术进行动植物组织培养技术生产这些产品可以降低生产成本。

(3) 固定化技术 发酵过程中各种成分的转化是在酶促反应下进行的,食品发酵结束后,下游处理过程可能会对这些酶造成一定的破坏,因此难以重复利用。利用固定化技术固定微生物细胞或酶,可以保证发酵过程连续进行,同时也能简化发酵产物的分离、纯化工艺。

(4) 注重大型化、自动化和连续化发酵设备的研发投入 发酵条件的控制是影响发酵进程的重要因素,在现代发酵生产过程中更注重发酵的高效率和低能耗,而这些都要求发酵的大型化、自动化和连续化。应将发酵工程与化工原理、生物传感器和计算机控制等知识相结合,开发出大型的、自动化和连续化的发酵设备。这种新型的发酵设备在能耗、原料利用率和劳动力成本上都会表现出极大的优势。

(5) 加大发酵工程下游方面的研究 现代食品研究更注重成分的具体化,发酵产物的分离、纯化可以扩大产品的应用范围,纯化还能提高产品的价值。分离、纯化已成为发酵工程的研究热点。发酵产物种类繁多,且性质不同,因此发酵产物的分离纯化应采用多技术相结合的方式,先用简单的方法对产品进行初步的分离,然后采用逐步纯化的方式。发酵产物分离、纯化的研究有两个方向:一是结合其他学科的发展开发新的分离、纯化方法;二是对现有的纯化技术进行优化。目前已大规模应用于发酵工程的分离纯化技术有:双水相萃取、新型电泳分离、大规模制备色谱、膜分离和连续结晶等技术。这些分离纯化技术提高了产品的得率。

(6) 开发更多的应用于发酵液的非热杀菌方式 食品原料经过发酵过程后,其中含有大量的具有生物活性的功能性成分,这些成分大部分对热敏感,另外热处理会破坏发酵食品中的风味物质以及其他成分,影响产品的色、香、味。常用的非热杀菌方式包括超高压杀菌、辐射杀菌和高压脉冲电场等。

(7) 加强微生物代谢等基础理论方面的研究工作 现代食品发酵技术大多通过控制发酵条件获得代谢目标产物,提高产品得率。但微生物的代谢途径复杂、多样,只有弄清微生物的代谢途径及其机制,才能从根本上调控微生物的代谢方向,提高产品得率和质量。

(8) 开发高值化产品 现有的发酵食品大多是初级农产品通过发酵过程转化而来,发酵食品的商业化品种单一、产值低。应结合多学科知识,利用先进技术加强新的发酵原料的开发和发酵产品的高值化处理,提高发酵产业的经济价值。

(9) 注重开发环境友好型的发酵食品生产工艺 通过应用新技术和改进发酵工艺降低发酵过程中的能耗,减少废水、废气排放,实现发酵工业的可持续发展。

(10) 利用发酵法生产单细胞蛋白 生产单细胞蛋白是解决未来食物短缺的有效措施,通过筛选、诱导培育出新的菌种和一定的发酵工艺,以农业和石油废料为原料生产单细胞蛋白,一方面可以生产出有用的单细胞蛋白,另一方面还可以处理影响环境的废弃物。

【思考题】

1. 发酵食品的分类及其对食品加工业的影响。