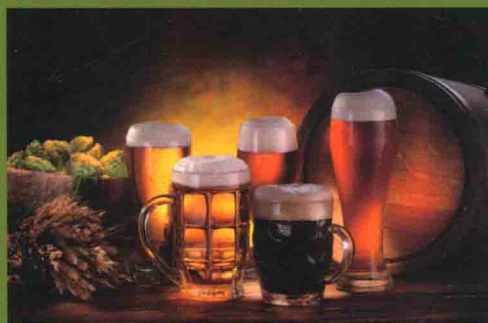




普通高等教育“十二五”规划教材  
全国高等院校食品专业规划教材

# 发酵食品原理与技术



张兰威 主编

Fermentation Food  
Principle and Technology



科学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

全国高等院校食品专业规划教材

# 发酵食品原理与技术

张兰威 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书内容由发酵微生物及代谢控制、发酵关键设备、食品发酵共性技术和传统发酵食品酿造、食品配料发酵生产工艺组成,共分12章。涵盖对国民经济有重大影响的发酵与酿造食品,如酒精、酒类、氨基酸、有机酸、核苷酸、传统发酵调味品、传统餐桌食品发酵食品、微生物制剂及发酵食品添加剂。

本书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、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、专科及研究生的课程教学使用,也可供从事食品发酵、食品加工的研究者和生产者等相关科技人员参考应用。

### 图书在版编目(CIP)数据

发酵食品原理与技术/张兰威主编. —北京: 科学出版社, 2014. 4

普通高等教育“十二五”规划教材, 全国高等院校食品专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 03 - 039642 - 6

I. ①发… II. ①张… 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(2014)第016324号



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>

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年4月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2014年4月第一次印刷 印张: 20 3/4

字数: 649 000

定价: 60.00 元

# 全国高等院校食品专业规划教材

## 《发酵食品原理与技术》编辑委员会

主 编 张兰威

副主编 梁金钟 冯 镇 吴祖芳 刘金福 张英春

编 者 (以姓氏笔画排序)

王长远(黑龙江八一农垦大学)

冯 镇(东北农业大学)

刘金福(天津农学院)

李 静(青岛农业大学)

张 智(东北林业大学)

张英春(哈尔滨工业大学)

张莉丽(东北农业大学)

金 清(延边大学)

梁金钟(哈尔滨商业大学)

彭新颜(鲁东大学食品工程学院)

韩 雪(哈尔滨工业大学)

毛青钟(会稽山绍兴酒股份有限公司)

刘书亮(四川农业大学)

杜 明(哈尔滨工业大学)

吴祖芳(宁波大学)

张兰威(哈尔滨工业大学)

张俊杰(淮海工学院)

易华西(哈尔滨工业大学)

徐 伟(哈尔滨商业大学)

梁宝东(济宁学院)

葛武鹏(西北农林大学)

焦月华(黑龙江中医药大学)

主 审 平文祥(黑龙江大学)

# 全国高等院校食品专业规划教材 筹备专家组

- |     |         |     |          |
|-----|---------|-----|----------|
| 王锡昌 | 上海海洋大学  | 张兰威 | 哈尔滨工业大学  |
| 刘成梅 | 南昌大学    | 陆启玉 | 河南工业大学   |
| 叶兴乾 | 浙江大学    | 赵国华 | 西南大学     |
| 李和生 | 宁波大学    | 王鸿飞 | 宁波大学     |
| 辛嘉英 | 哈尔滨商业大学 | 李 燕 | 上海海洋大学   |
| 崔 波 | 齐鲁工业大学  | 耿 越 | 山东师范大学   |
| 朱 珠 | 吉林工商学院  | 任丹丹 | 大连海洋大学   |
| 刘光明 | 集美大学    | 蒋小满 | 鲁东大学     |
| 沈 波 | 杭州师范大学  | 郑艺梅 | 闽南师范大学   |
| 白 晨 | 上海商学院   | 赵 利 | 江西科技师范大学 |
| 马汉军 | 河南科技学院  | 姚兴存 | 淮海工学院    |

(以上专家排名不分先后)

# 前言

发酵食品生产伴随着人类对食物的利用而发展,历史悠久,种类繁多,在食品工业和人们日常生活中占据重要地位。然而,我国发酵食品尤其是传统发酵食品工业化程度较低,技术严重滞后。东方食品产业化,传统食品现代化已经成为社会共识。在继承传统发酵食品特色基础上,利用现代发酵原理和高新技术实现传统发酵食品生产的现代化是必然趋势。随着科学技术的快速发展,特别是现代分子生物学与生物技术、微生物学、自动控制及机械装备等相关领域的发展,为传统发酵食品产业的发展奠定了基础。

本书内容由发酵微生物及代谢控制、发酵关键设备、食品发酵共性技术和传统发酵食品酿造、食品配料发酵生产工艺组成,共分12章。涵盖对国民经济有重大影响的发酵与酿造食品,如酒精、酒类、氨基酸、有机酸、核苷酸、传统发酵调味品、人们日常餐桌食品发酵食品、微生物制剂及发酵食品添加剂。在编写过程中本书力求:第一,理论联系实际,既保证有系统的理论知识,又努力反映发酵食品加工中的新工艺、新成就;第二,在陈述发酵食品工艺的同时,突出传统发酵食品微生物作用及发酵食品形成的生化机制;第三,本书简要介绍了产品生产的发展历史,使学习者在学习科学技术的同时,能了解发酵食品演变史,树立系统的科学发展观;第四,每章列有思考题,便于学生学习,掌握重点。

参加本书编写人员分工如下:

绪论 张兰威

第一章 张兰威、梁宝东、冯镇

第二章 易华西、张兰威

第三章 张英春、张俊杰

第四章 第一节,梁金钟;第二节,张兰威、焦月华

第五章 第一节,吴祖芳、毛青钟;第二节,张兰威、杜明;第三节,刘金福

第六章 徐伟、李静

第七章 第一至第二节,张智;第三节,张兰威、张莉丽

第八章 第一节,张兰威、张莉丽;第二节,刘书亮;第三节,张兰威、金清、刘书亮;第四节,冯镇

第九章 第一节,张兰威;第二节,韩雪、葛武鹏;第三节,韩雪、张兰威;第四节,张兰威、金清;第五节,葛武鹏、徐伟;第六节,葛武鹏、张兰威;第七节,彭新颜

第十章 第一节,吴祖芳;第二节,冯镇、张兰威;第三节,吴祖芳、张兰威;第四节,吴祖芳、张莉

丽、张兰威

#### 第十一章 王长远、张英春、焦月华

本书参编人员多,写作风格差异较大,所以进行了多次统稿和审改工作。由张兰威、冯镇、梁金钟、吴祖芳、张英春组成编审组对初稿进行了部分交叉修改。最后,由张兰威统稿审定,平文祥教授审定。博士生洛雪、薛超辉、李洪波、张爽、刘文丽、王淑梅做了大量的稿件整理工作。

参加本书的编写人员均为有多年教学和科研经验的大学教师及专业人员,在编写过程中根据教学和科研体会努力做到言简意赅、重点突出、深入浅出、科学系统、理论联系实际、实用性强。由于编者学识和水平有限,加之此领域发展较快,涉及内容及范围较广,书中错误与疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013年9月

# 目 录

## 前言

## 绪 论

1

- 一、发酵食品生产的特点及其分类 /1
- 二、发酵食品生产历史 /1
- 三、我国发酵食品产业的现状及存在的问题 /2
- 四、发酵食品的发展趋势 /2
- 五、学习方法 /3

## 第一章 食品发酵微生物及代谢机制

4

- 第一节 发酵食品微生物种类与发酵点 /4
  - 一、发酵食品工业常用的细菌及用途 /4
  - 二、发酵食品工业上有重要用途的酵母菌 /5
  - 三、工业上有重要用途的霉菌 /6
- 第二节 微生物多样性及微生物生态学研究方法 /8
  - 一、微生物多样性及筛选 /8
  - 二、微生物生态学研究方法 /8
- 第三节 发酵食品生产菌种的选育与保藏 /10
  - 一、菌种的选育技术 /10
  - 二、菌种的衰退、复壮与保藏 /19
- 第四节 食品微生物发酵机制及代谢调控 /21
  - 一、微生物的初级与次级代谢 /21
  - 二、食物发酵过程重要的物质及能量代谢 /22
  - 三、微生物发酵的代谢途径 /27
  - 四、微生物发酵的代谢调控 /30
  - 五、微生物代谢工程 /34

## 第二章 微生物发酵及其过程控制

36

- 第一节 食品发酵基质制备 /36
  - 一、主要成分及食品发酵原料 /36
  - 二、发酵基质的制备 /38
- 第二节 空气净化及溶氧 /41
  - 一、发酵液中氧溶解及传质理论 /41
  - 二、影响氧传递速率的主要因素 /42
  - 三、增加发酵液中溶解氧的方法 /44
  - 四、空气过滤除菌 /45
- 第三节 发酵过程参数及其检测 /46
  - 一、发酵过程参数 /46
  - 二、发酵过程有关数据的采集 /49
- 第四节 固态发酵的特点及控制措施 /50
  - 一、与液态发酵相比固态发酵的特点 /51
  - 二、固态发酵的主要调控因素及其控制措施 /52
  - 三、大规模固态发酵需要考虑的工程问题 /53
- 第五节 液态发酵的特点及其调节控制 /55
  - 一、液态发酵特点 /55
  - 二、液态发酵的调控参数及其控制措施 /55
  - 三、发酵过程中杂菌的污染与防治 /60
- 第六节 发酵动力学 /62
  - 一、分批发酵动力学 /62



二、连续发酵 /66

三、补料分批发酵动力学 /67

### 第三章 发酵食品生产的关键设备和设施

71

第一节 发酵设备和设施 /71

一、固态发酵设备 /71

二、液态发酵系统 /73

第二节 固液分离设备 /76

一、离心机 /76

二、常规过滤设备 /78

三、膜分离设备 /81

第三节 提取、蒸馏及干燥设备 /84

一、发酵食品的提取设备 /84

二、发酵食品的蒸馏设备 /85

三、发酵食品的干燥设备 /89

### 第四章 酒精发酵生产与白酒酿造

91

第一节 酒精生产 /91

一、酒精发酵微生物及发酵机理 /91

二、酒精发酵原料及处理 /93

三、淀粉质原料的蒸煮与糖化工艺 /94

四、酒精发酵 /97

五、酒精蒸馏 /100

六、酒精回收新技术及无水酒精的制备 /105

第二节 白酒酿造 /106

一、白酒的分类及原料 /106

二、白酒的生产用酒曲及生物学特点 /106

三、典型大曲香型白酒的生产工艺 /111

四、白酒的蒸馏、陈酿与勾兑技术 /119

### 第五章 黄酒、啤酒和葡萄酒酿造

126

第一节 黄酒(米酒)酿造 /126

一、黄酒的分类及特点 /126

二、黄酒生产原料 /128

三、黄酒酿造的主要微生物及作用 /128

四、黄酒酿造工艺 /129

第二节 啤酒酿造 /136

一、啤酒的分类及原辅料 /136

二、啤酒发酵酵母及代谢作用 /138

三、麦芽制备 /142

四、麦汁制备 /145

五、啤酒发酵 /148

六、啤酒发酵液后处理与成品包装 /151

第三节 葡萄酒酿造 /153

一、葡萄酒分类及原料 /153

二、葡萄酒酿造的微生物及作用 /156

三、白葡萄酒的酿造工艺及质量控制 /159

四、红葡萄酒的酿造工艺及质量控制 /162

### 第六章 有机酸发酵

168

第一节 柠檬酸发酵 /168

一、柠檬酸发酵法生产原料 /168

二、柠檬酸发酵菌种及发酵机理 /172

三、柠檬酸发酵工艺 /176

四、柠檬酸的分离提取精制 /180

五、浓缩与结晶 /183

六、干燥与包装 /185

第二节 乳酸发酵 /186

一、乳酸性质及生产现状 /186

二、乳酸发酵菌种及发酵生化机制 /187

三、乳酸发酵 /189

四、乳酸的分离提取 /191

## 第七章 氨基酸与核酸发酵

196

- 第一节 谷氨酸生产 /196
- 一、谷氨酸生产原料及预处理方法 /196
  - 二、谷氨酸产生菌及发酵机理 /197
  - 三、谷氨酸发酵生产工艺及调控 /200
  - 四、影响谷氨酸产量的关键因素及控制 /205
- 第二节 发酵法生产 L-赖氨酸 /209
- 一、赖氨酸性质及生产概况 /209
  - 二、赖氨酸生产菌种及发酵机制 /209
  - 三、赖氨酸发酵工艺及生产控制 /211
  - 四、影响赖氨酸产量的关键因素及控制 /212
- 第三节 发酵法生产核苷酸 /213
- 一、发酵法生产核苷酸菌株特点 /213
  - 二、核苷酸的生物合成途径及其代谢调节 /213
  - 三、发酵法生产核苷酸基本工艺 /214

## 第八章 传统调味品发酵

218

- 第一节 食醋酿造 /218
- 一、食醋的分类及酿造原料 /218
  - 二、食醋酿造的主要微生物及糖化发酵剂 /219
  - 三、食醋酿造基本原理 /221
  - 四、食醋酿造工艺 /223
- 第二节 酱油酿造 /228
- 一、酱油的分类及生产原料 /228
  - 二、酿造中主要微生物及生化机制 /231
  - 三、生产工艺 /233
- 第三节 发酵酱酿造 /240
- 一、发酵酱类制品的分类及生产原料 /240
  - 二、酱类酿造中的主要微生物及生化机制 /242
  - 三、酱类生产工艺 /242
  - 四、豆豉与纳豆酿造 /249
- 第四节 腐乳生产 /252
- 一、腐乳的分类及生产原料 /252
  - 二、发酵中微生物及生化机制 /253
  - 三、腐乳生产工艺 /255

## 第九章 传统餐桌发酵食品

261

- 第一节 发酵肉制品 /261
- 一、发酵肉制品分类 /261
  - 二、发酵肉制品中微生物及其作用 /262
  - 三、肉发酵成熟过程中的生物化学变化 /263
  - 四、发酵肉制品生产 /264
- 第二节 发酵乳制品 /267
- 一、发酵乳制品的分类及生产原料 /267
  - 二、发酵乳中主要微生物及生化机制 /267
  - 三、发酵乳生产工艺 /269
- 第三节 天然干酪加工 /272
- 一、干酪的分类及生产原料 /272
  - 二、干酪中主要微生物及生化机制 /273
  - 三、半硬质或硬质干酪生产工艺 /275
  - 四、霉菌型干酪生产工艺 /276
- 第四节 发酵蔬菜制品 /277
- 一、发酵蔬菜制品分类及原料的选择 /277
  - 二、蔬菜发酵微生物及作用 /278
  - 三、生产工艺 /280
- 第五节 发酵饮料 /283
- 一、红茶菌饮料 /283
  - 二、格瓦斯饮料 /284
  - 三、稠酒 /287
- 第六节 果醋酿造 /287
- 一、果醋分类及原料 /288
  - 二、果醋酿造微生物及酿造机制 /288
  - 三、果醋加工 /288
- 第七节 发酵面制品 /289
- 一、面包制作 /289

二、馒头制作 /294

## 第十章 微生物制剂及发酵食品添加剂

296

第一节 发酵法生产酶制剂 /296

- 一、酶的生产方法及微生物发酵 /296
- 二、酶制剂的制备生产 /298

第二节 活菌制剂 /300

- 一、乳酸菌及益生菌制剂 /300
- 二、活性干酵母的制备 /302

第三节 单细胞蛋白生产 /303

- 一、生产单细胞蛋白的菌种及原料 /304

二、单细胞蛋白的生产工艺 /304

三、啤酒废酵母生产单细胞蛋白 /305

第四节 其他活性成分 /306

一、黄原胶发酵生产 /306

二、红曲色素 /307

三、发酵生产谷胱甘肽 /308

四、乳酸链球菌素(抗菌肽) /309

## 第十一章 发酵食品的安全性及清洁生产

310

第一节 发酵食品的安全性 /310

- 一、微生物菌种安全性问题 /310
- 二、发酵食品原材料安全性问题 /312
- 三、发酵食品工艺安全性问题 /313

第二节 发酵食品生产环境污染治理 /314

- 一、发酵食品工业废渣的综合利用与处理 /314
- 二、发酵食品工业废水的综合利用与处理 /314
- 三、发酵工业清洁生产 /316

主要参考文献 /318

发酵食品是利用微生物的作用而制得的一类食品,在中国有着悠久的历史和丰富的内涵。发酵食品以其良好的质地和风味,深受国人喜爱,并逐渐传播到其他国家和地区,对世界饮食结构和文化的形成产生了重要的影响。现代科学研究证实发酵食品具有多种营养保健功能。发酵食品的传统生产是通过自然控制生产条件从而促使多种微生物在原料中生长、作用。这是先辈们经过长期的生活摸索总结出来的,但是这种生产方式在很大程度上依赖于自然环境的变化,不能连续生产,而且大多是家庭作坊式生产,很难做到产品一致,对发酵食品的规模化和现代化很不利。

## 一、发酵食品生产的特点及其分类

发酵概念在不同的领域有不同的含义。在微生物学领域发酵是一个广义的概念,泛指微生物进行的一切活动;而在生物化学领域,发酵仅仅是指厌氧条件下有机化合物进行不彻底的分解代谢释放能量的过程。在我国通常将成分单一、风味要求不高的产品,如酒精、氨基酸、有机酸、单细胞蛋白等的生产称为发酵;而把成分复杂、风味要求较高的产品,诸如酒类以及调味品、酱腌菜等的生产称为酿造。

**1. 发酵食品的特点** 发酵与酿造工业本质是利用生物体或生物体产生的酶进行的化学反应,其主要特点为:

(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,添加少量营养因子进行反应。

(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的,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: 由于不同生物体代谢方式、代谢过程的多样性,以及生物体化学反应的高度选择性,使得极其复杂的高分子化合物也能在自然界找到所需的代谢产物。因而,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。

**2. 发酵食品行业及食品分类** 食品发酵与酿造业与国民经济密切相关,涉及的部门和产品众多。涵盖酿酒、传统调味品酿造、有机酸发酵、酶制剂发酵、氨基酸发酵、功能性食品生产、食品添加剂生产、菌体制造、维生素发酵和核苷酸发酵行业及相应食品。这些食品包括发酵获得的微生物代谢产物、食物原料生物转化和菌体本身。

## 二、发酵食品生产历史

最初,发酵食品是利用天然微生物发酵或采用传统发酵工艺获得的,发酵过程中依赖微生物的活性产物抑制大部分有害微生物的生长,是一种古老的食物保藏方法。发酵技术经过不断演变、分化,这类食品由最初大多是以延长食品保存期、消除季节差异为目的,拓展成为一种独特的食品加工方法。我国发酵食品历史悠久,利用自然环境对粮食、谷物、豆类、蔬菜及肉类进行发酵,同时发明了酿酒、制醋、制酱、腌制蔬菜、制作风干肠等发酵工艺。其他国家同样有独特的发酵食品,如 8 000 年前在伊拉克所在地区就有干酪制作,在公

元前4 000~公元前2 000年,埃及人开始葡萄酒的酿造,还发明了用干发酵剂生产面包。

发酵食品离不开微生物,而在微生物的发现过程中做出重大贡献的是17世纪后叶的列文虎克(Leeuwenhoek),他发明了简单显微镜并发现了单细胞微小生命体——微生物。在随后的100多年里,对各种微生物的观察一直没有间断,但仍然没有认识到微生物和发酵的关系。直到19世纪中叶,巴斯德(Louis Pasteur,1822~1895)经过长期而细致的研究之后,才有说服力地宣告发酵是微生物作用的结果。巴斯德在瓶中加入肉汁,发现在加热情况下不发酵,不加热则产生发酵现象,并详细观察了发酵液中许许多多微小生命的生长情况,由此得出结论:发酵是由微生物进行的一种化学变化。在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,巴斯德认识到这些不同类型的发酵,是由形态上可以区别的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。其后不久,科赫(Robert Koch,1843~1910)建立了单种微生物的分离和纯培养技术,利用这种技术成功地获得各种纯培养微生物。人类靠智慧逐渐学会了对微生物的控制,把单一微生物菌种应用于各种发酵产品中,在产品防腐、质量提高和质量稳定等方面起到了重要作用。随着科学技术的进步,发酵与酿造技术发展领域形成了载入史册的标志性里程碑,如微生物分离和纯培养技术的建立(第一个转折点);随后,好气性发酵工程技术(第二个转折点);人工诱变育种和代谢控制(第三个转折点);将化学合成与微生物发酵有机地结合(第四个转折点),每一个转折点都为发酵工业带来了快速发展。

### 三、我国发酵食品产业的现状及存在的问题

近年来,我国发酵食品产业取得了长足进步。据不完全统计,全国固态发酵食品企业共计45 000余家。仅以固态发酵食品的几个主导产品为例,2011年,我国白酒、酱油、食醋产量分别为1 026万吨、663万吨和330万吨,比2010年分别提高15%、11%和32%。2011年,上述产业共实现总产值约4 200亿元,约占当年国内生产总值的0.9%,利税总额达1 500亿元,直接就业人数150余万人,间接带动上下游相关产业规模10 000亿元以上。

虽然我国发酵食品产业取得了一些成绩,但我国传统发酵食品总体工业化程度不高,大多数传统发酵食品企业规模小、技术管理落后,很大一部分传统发酵食品的加工手段比较原始或工业化程度较低,没有足够的竞争力进军国际市场,在国内市场竞争中也不占优势。

我国的传统发酵食品质量不稳定,大多数企业生产以传统的天然发酵工艺为主,生产过程和质量控制主要依靠技术人员的经验加以判断,产品的质量受外界因素的影响非常明显,使得同一产品不同批次的品质、风味差异较大,难以实现标准化。我国大多数传统发酵食品企业仍沿袭天然发酵工艺,微生物菌群复杂且发酵过程难以控制,不少发酵过程中混有有害菌株而导致有害代谢产物累积,从而带来安全隐患。与其他食品产业一样,传统发酵产业的发展同样离不开工艺技术革新。在我国传统发酵食品企业中,有的企业因循守旧,生产工艺落后,未能摒弃传统酿造工艺中的不利因素,有的企业在工艺革新过程中盲目追求效率和效益,使产品的传统特色丧失,这种工艺革新的滞后严重制约了我国传统发酵食品产业的发展。

### 四、发酵食品的发展趋势

目前,传统发酵行业正面临一场转型升级的突围。现代生物技术成为传统发酵食品企业纷纷借力的重要支撑。中国传统食品产业虽然具备一定产业基础,但仍然不具备雄厚的国际竞争力,因此推动传统食品产业升级,将是促进中国传统食品工业化的必经之路。

**1. 发酵微生物菌种** 我国发酵食品中的某些种类的传统生产技术不需要制备发酵剂,采用空气中或原料表面的微生物直接接种发酵,或者采用从产品中直接回收的发酵剂进行接种发酵,如腐乳、豆豉、豆酱、酱腌菜、泡菜、火腿等;而另外一些种类的发酵食品需要先制作发酵剂,再将发酵剂添加到原料中进行发酵,如中国酒、酱油酿制使用的曲等。但是,随着现代发酵技术的发展,对各种发酵食品中的微生物的了解逐渐清楚,各种发酵食品的生产技术研究中都涉及了发酵剂的制备,如制作酸泡菜的直投式发酵剂、腐乳的纯种毛霉发酵剂或根霉发酵剂及制作酸奶的直投式发酵剂等。根据发酵食品的发展方向,包括直投式发酵剂制备技术在内的纯菌接种工业化生产发酵食品是行业发展的必然趋势。应用现代生物技术分离、选育、改良发

酵菌株,提高菌株的酶活力或增加菌株的酶系表达,并实现单一菌株的纯种发酵,简化发酵剂的制作过程,提高发酵效率,以生产出品质稳定的产品。

**2. 发酵控制技术** 就发酵原料的预处理而言,很多传统发酵食品的原料需要预处理后再进行发酵,如酿酒、醋、酱、酱油、豆豉等,都需要先将原料谷物或豆类进行蒸煮熟化,以便于微生物的利用。随着一些新技术的出现完全可以替代传统蒸煮熟化的预处理方式。就食品的发酵技术而言,我国发酵食品的发酵技术进展较慢,现阶段大多数发酵食品仅从原来的自然发酵条件改进到人工控制部分条件,如温度、湿度、通气量等。发酵方式大多采用传统的固态发酵,这对自动化操作有所不便,近年也有采用液态发酵方式的,但往往产品质量都不及传统产品。在发酵设备上也有一些改进,如酱油生产中的发酵容器大多已由缸改用设有衬底的水泥池,便于采用浸泡淋油法取油。有的固态发酵法榨油由杠杆式木制压榨机改用螺旋式压榨机,稀醪发酵采用水压式压榨机榨油。但和国外的发酵技术相比,我国仍较为落后。利用现代的发酵工程科学与技术对传统发酵工艺进行革新和改造,优化发酵工艺以实现传统发酵食品的工业化和自动化生产势在必行。

**3. 发酵后处理技术研究** 很多发酵食品在发酵后还要经过一系列处理,如陈酿、灭菌或脱盐等。陈酿或后熟是为了让刚刚发酵结束的食品在一定条件下发生某些生物化学反应,使其风味更加协调、柔和,如酒、醋通常需要较长时间的陈酿。为了提高企业的生产效益,利用现代化的物理和化学方法作为辅助手段可以有效地缩短后熟或陈酿的时间。我国传统发酵调味品通常含盐量很高,如酱油含盐量常达 18%~20%(w/v),其主要作用是在自然发酵过程中控制某些微生物的生长繁殖。但现代研究认为,长期食用高盐食品对健康不利,这种情况不利于我国发酵调味品的发展。利用现代发酵技术和分离技术降低传统发酵食品的盐含量,研制开发低盐发酵食品,更有利于传统发酵食品的销售和消费者的身体健康。

**4. 高新技术应用于传统发酵食品工业** 将生物技术、膜分离、超滤、反渗透、纳米过滤、超临界萃取、分子蒸馏、微胶囊包埋、挤压膨化、快速冻结、微波加工、真空技术、冷冻干燥、超高压加工、超高温瞬时杀菌、辐射杀菌、无菌包装等高新技术应用于传统发酵食品工业化生产中,深入研究其对发酵食品品质的影响机制,促进新产品的研制和开发,推动中国传统食品的工业化和现代化。

总之,发酵食品的生产理论及技术均在不断的改进和更新过程中,既要保持发酵食品的传统特色又要实现传统发酵食品的工业化和规模化生产任重而道远。在生产技术上我国发酵食品也可借鉴国外发酵食品的成功范例,如韩国泡菜的生产。不仅要发展生产配套设备,而且要建立有效的检测手段、评价体系,促进发酵食品生产技术的发展。

## 五、学习方法

《发酵食品原理与技术》是一门系统介绍食品发酵基本理论、基本技术及主要发酵食品生产工艺的课程,这门课的内容既涉及微生物学又涉及食品工程、发酵工程等学科,其主要技术内容包括微生物菌种的保藏、菌种的扩大培养及发酵剂的制备、发酵代谢的调控、微生物生态及作用、发酵产物的分离提取、发酵食品的工艺及控制等。学习者在学习时应该了解和掌握微生物发酵基础知识,发酵食品形成机制及工艺技术。

## 食品发酵微生物及代谢机制

发酵食品是经过微生物的作用使原料发生复杂的生物化学及物理变化后制成的食品。微生物种类是发酵食品生产的生物学基础,决定发酵食品特性。性能优良的菌种才能使发酵食品具有良好的色、香、味等食品特征,因此,菌种的选育是一个关键问题。微生物体内存在着相互联系、相互制约的代谢过程,这一过程是由一系列酶催化的生化反应来完成,微生物根据需要在瞬间即可形成每一种恰当酶,因此具有极精细的代谢控制系统。

### 第一节 发酵食品微生物种类与发酵点

#### 一、发酵食品工业常用的细菌及用途

##### 1. 革兰氏阴性无芽孢杆菌

(1) 大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*, 俗称大肠杆菌): 作为基因工程受体菌,用于各种氨基酸,多种酶如凝乳酶、溶菌酶、谷氨酸脱羧酶、 $\alpha$ -半乳糖苷酶等发酵。

(2) 醋酸杆菌(*Acetobacter*): 生产食醋、有机酸如醋酸、酒石酸、葡萄糖酸、山梨糖等。

##### 2. 革兰氏阳性无芽孢杆菌

(1) 短杆菌(*Brevibacterium*)

1) 发酵生产多种氨基酸: 主要菌种为黄色短杆菌(*Bre. flavum*)及其变种、乳糖发酵短杆菌(*B. lactofermentum*)及其基因工程菌。

2) 发酵生产核苷酸类产物: 如三磷酸腺苷(ATP)、肌苷酸(IMP)、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD)、辅酶I(CoI)、辅酶A(CoA)、黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)等。主要菌种为产氨短杆菌(*B. ammoniagenium*)及其变异菌种。

(2) 棒状杆菌(*Corynebacterium*): 高产谷氨酸、生产多种氨基酸和5'-核苷酸、水杨酸、棒状杆菌素等,主要有谷氨酸棒状杆菌(*C. glutamicum*)、北京棒状杆菌(*C. pekinense*)及棒状杆菌的变异株等。

(3) 乳酸杆菌(*Lactobacillus*)

1) 生产乳酸: 主要菌种有德氏乳酸杆菌(*L. delbrueckii*)。

2) 生产发酵乳制品: 如酸奶、干酪等。主要菌种有德氏乳杆菌保加利亚亚种(*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)、嗜酸乳杆菌(*L. acidophilus*)和干酪乳杆菌(*L. casei*)。

3) 生产其他乳酸发酵食品: 如发酵蔬菜、发酵饮料、发酵谷物、发酵肉制品等。

4) 生产乳酸菌制剂和微生态制剂: 用于保健、预防和治疗胃肠道疾病,作为食品或微生物饲料添加剂生产保健食品或功能性饲料。主要有嗜酸乳杆菌、干酪乳杆菌、植物乳杆菌、莱氏乳杆菌和纤维二糖乳杆菌等。

(4) 双歧杆菌(*Bifidobacterium*)

1) 生产微生态制剂: 用于治疗各种因素引起的肠道微生态平衡失调和肠功能紊乱,还具有抗肿瘤、免疫调节、营养、降低胆固醇、控制内毒素和延缓衰老等作用。主要菌种有动物双歧杆菌(*Bif. animalis*),包括短双歧杆菌(*Bif. breve*)、长双歧杆菌(*Bif. longum*)、青春双歧杆菌(*Bif. adolescentis*)、婴儿双歧杆菌(*Bif. infantis*)和两歧双歧杆菌(*Bif. bifidum*)等。若与某些乳酸杆菌混种,再加入某些低聚糖类作为双歧促生因子,制成复合微生态制剂,其功能更佳。

2) 生产有活性双歧杆菌的乳制品: 以嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌等菌种为主,辅以双歧杆菌等,混种

发酵生产而成的酸乳,是一种具有很好保健作用的功能性食品。

(5) 丙酸杆菌(*Propionibacterium*): 生产丙酸、维生素 B<sub>12</sub>, 主要菌种为薛氏丙酸杆菌(*P. shermanii*)和傅氏丙酸杆菌(*Pro. freudenreichii*)。在发酵液中加入乳酸、氰化亚铜 35~50 mg/kg 和钴离子 1~2 mg/kg, 可增加氰钴胺素的产量。

### 3. 革兰氏阳性芽孢杆菌

(1) 枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*, 简称枯草杆菌): 生产各种酶制剂如  $\alpha$ -淀粉酶、蛋白酶、溶菌酶, 各种多肽、蛋白质类药物和酶。

(2) 其他芽孢杆菌: 产生  $\alpha$ -半乳糖苷酶的嗜热脂肪芽孢杆菌(*B. stearothermophilus*), 生成环糊精羟基转移酶(丁酰苷酶 A、B 等)的环状芽孢杆菌(*B. circulans*), 生成葡萄糖异构酶、溶菌酶等的果糖芽孢杆菌(*B. fructosus*)。

(3) 芽孢梭菌(*Clostridium*): 丁酸梭状芽孢杆菌(*Cl. butylicum*)能生产丁酸, 巴氏芽孢梭菌(*Cl. barkeria*)能产生己酸, 丁酸或己酸在传统大曲酒生产中能形成赋予白酒浓香型香味成分, 如丁酸乙酯、己酸乙酯等。

### 4. 革兰氏阳性球菌

#### (1) 微球菌(*Micrococcus*)

1) 生产氨基酸: 如谷氨酸微球菌(*M. lysodeikticus*)及其变异株可用于生产谷氨酸、赖氨酸、缬氨酸、鸟氨酸和高丝氨酸等。

2) 生产酶类: 如溶壁微球菌(*M. lysodeikticus*)和玫瑰色微球菌(*M. roseu* ATCC515)可用于生产青霉素酰化酶和溶壁酶。

3) 生产有机酸: 如黄色微球菌(*M. flavus*)能氧化葡萄糖, 生产葡萄糖酸和黄色色素。

#### (2) 链球菌(*Streptococcus*)

1) 生产抗菌肽: 乳链球菌(*Str. lactis*)可用于生产抗菌多肽如乳链球菌肽(nisin)和乳酸菌素(lactolin)。其中乳链球菌肽作为一种高效、无毒的天然食品防腐剂, 已被广泛应用于多种食品。

2) 生产乳制品: 嗜热链球菌(*Str. thermophilus*), 常与保加利亚乳杆菌(*L. bulgaricus*)混合用于酸乳和干酪生产。

3) 生产乳酸菌制剂: 粪链球菌(*Str. faecalis*), 现改称粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*)用于生产乳酶生(也称表飞鸣 Biofermin), 是我国最早的乳酸菌药品, 用于治疗消化功能紊乱。现又加入乳杆菌以提高其疗效(称新表飞鸣)。

#### (3) 明串珠菌(*Leuconostoc*)

1) 生产右旋糖酐(dextran): 也称葡聚糖, 是蔗糖经肠膜明串珠菌(*Leu. mesenteroiides*)或葡聚糖明串珠菌(*Leu. dextransicum*)发酵而成的一种葡萄糖聚合物, 已广泛应用在医疗、食品和生化试剂等方面, 在临床上是一种优良的血浆代用品。

2) 生产葡萄糖异构酶: 上述两种明串珠菌也能产生葡萄糖异构酶, 用于制造高果糖浆。

## 二、发酵食品工业上有重要用途的酵母菌

**1. 酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)** 又称啤酒酵母, 是糖酵母属中最主要的酵母种, 也是发酵工业上最常用最重要的菌种之一。

(1) 用于生产酒精和酒类: 可利用淀粉质糖化原料生产酒精、白酒, 酿造葡萄酒和果酒, 也可用于酿造啤酒等饮料酒。

(2) 生产活性干酵母, 食品或饲料添加剂的单细胞蛋白(SCP), 各种调味品(鸡精等)、酵母精(含 IMP 和 CMP 钠盐)的助鲜剂, 水解蔗糖, 制造果糖、人工蜂蜜等的转化酶。

### 2. 卡尔斯伯酵母(*Saccharomyces carlsbergensis*)

(1) 用于生产啤酒: 该菌种是发酵啤酒的主要生产菌种, 国内啤酒酿造目前使用的菌种中, 很多是来自卡氏酵母或其变种。



- (2) 用于生产食用、药用和饲料酵母。
- (3) 用于提取麦角固醇(含量较高)。
- (4) 作为维生素测定菌,可用于测定泛酸、硫胺素、吡哆醇、肌醇等。

### 3. 异常汉逊氏酵母(*Hansenula anomala*)

(1) 用于增加食品的风味:异常汉逊氏酵母能产生香味成分乙酸乙酯,故可用于白酒和清酒的浸香和串香,也可用于无盐发酵酱油的增香。

(2) 用于生产单细胞蛋白:该菌种能利用烃类、甲醇、乙醇和甘油作为碳源生长繁殖,生产用作饲料添加剂的菌体蛋白。

(3) 制造发酵食品:该酵母与啤酒酵母、米根霉和毛霉制成一种印度尼西亚米粉发酵食品——拉兹。

4. 假丝酵母(*Candida Berkhout*) 产朊假丝酵母(*Candida utilis*)的蛋白质含量和维生素B含量均比酿酒酵母高,它能够在只需少量氮源的情况下,利用造纸工业的亚硫酸废液、木材水解液及食品工厂的某些废料废液(五碳糖和六硫糖)生长,常用于生产酵母蛋白。

### 5. 球拟酵母(*Torulopsis Berlese*)

(1) 生产甘油等多元醇:某些种在合适条件下能将40%葡萄糖转化成多元醇,其中以甘油为主,还有赤藓醇、D-阿拉伯糖醇和甘露醇等。

(2) 利用烃类生产菌体蛋白:某些种氧化烃类能力较强,在220~250℃石油馏分中培养,能够得到70%的菌体蛋白。

(3) 产生有机酸(柠檬酸)和油脂。

### 6. 红酵母(*Rhodotorula Harrison*)

(1) 由菌体提取大量脂肪:如黏红酵母变种(*R. glutinisrar var. glutinis*)的脂肪含量可达细胞干重的50%~60%,产1g脂肪约需4.5g葡萄糖。

(2) 生产 $\beta$ -胡萝卜素:某些种能合成较多的 $\beta$ -胡萝卜素。

(3) 制取酶制剂:青霉素酰化酶、谷氨酸脱羧酶、酸性蛋白酶等。

## 三、工业上有重要用途的霉菌

### 1. 根霉(*Rhizopus*)

(1) 用于制曲酿酒:米根霉(*R. oryzae*)、中国根霉(*R. chinensis*)、河内根霉(*R. tonkinensis*)、代氏根霉(*R. delemar*)和白曲根霉(*R. peka*)等许多根霉具有活力强大的淀粉糖化酶,多用来做糖化菌,并与酵母菌配合制成小曲,用于生产小曲米酒(白酒)。由于根霉除具有糖化作用外,还能生产少量乙醇和乳酸,乳酸和乙醇能生成乳酸乙酯,赋予小曲米酒特有的风味。此外,单独用根霉制成甜酒曲(酒药),以糯米为原料,可配制出风味甚佳的甜酒或黄酒等传统性饮料酒。

(2) 生产葡萄糖:上述所列根霉含有丰富的淀粉酶,其中糖化型淀粉酶与液化型淀粉酶的比例约为3.3:1,可见其糖化型淀粉酶特别丰富,活力强大,能将淀粉结构中的 $\alpha$ -1,4键和 $\alpha$ -1,6键切断,将淀粉转化为纯度较高的葡萄糖。故利用根霉产生的糖化酶,再与 $\alpha$ -淀粉酶配合,可用于酶法生产葡萄糖。

(3) 生产酶制剂:淀粉糖化酶、脂肪酶主要生产菌为少孢根霉(*R. arrhizus*)和代氏根霉;果胶酶主要生产菌为匍枝根霉(*R. stolonifer*);酸性蛋白酶; $\alpha$ -半乳糖苷酶。

(4) 生产有机酸:米根霉产L(+)-乳酸量最强;匍枝根霉和少孢根霉的某些菌株可生产反丁烯二酸(富马酸)和顺丁烯二酸(马来酸)。

(5) 生产发酵食品:匍枝根霉、米根霉和少孢根霉可用于发酵豆类和谷类食品,如大豆传统发酵食品丹贝(tempeh)。

### 2. 毛霉(*Mucor*)

(1) 发酵生产大豆制品:毛霉大部分都能生产活力强大的蛋白酶,有很强的分解大豆的能力。霉菌型腐乳就是用毛霉发酵生产的,四川的豆豉也是用毛霉(总状毛霉)发酵制成的。

(2) 生产多种酶类:生产蛋白酶如雅致放射毛霉(*Actinomucor elegans*);生产淀粉糖化酶如高大毛霉