

第一章 发酵食品的基础知识

食品发酵技术在我国具有悠久的历史，我国人民积累了丰富的经验，发酵食品种类繁多，风味独特，脍炙人口，以色、香、味、形俱佳誉满中外。世界各国的发酵食品也各具特色。随着人们生活水平的不断提高，对各种发酵食品的需求量越来越大，对质量的要求也越来越高。运用综合性的先进发酵技术提高工效降低成本不断提高产品质量、产量开拓、生产新品种，具有极大的现实意义。

发酵食品与其他方法加工的食品有很大的不同，因此本书有必要对一些涉及食品发酵的基础知识作稍详细的介绍，并对食品发酵部分作重点介绍，而对食品加工的一般技术只作简要叙述。

第一节 发酵和发酵食品

“发酵”这一术语在不同时期有不同含义。在酵母菌发现以前，发酵一词被用来描述酒类生产中所看到的气泡翻腾的情形，发泡作用是由于在糖的转化过程中释放出二氧化碳气体，虽然这个反应目前尚未下定论。根据盖罗萨克的研究，发酵是指糖分解为酒精和二氧化碳的现象。后来巴士德证实了酵母对这个反应的关系，因而发酵一词变成与微生物相关，后来更与酶相关。早期对发酵的研究主要论述碳水化合物分解及其释放出二氧化碳气体的反应。然而，不久就认识到作用于糖类的微生物或酶并不总是释放出气体。此外，所研究的许多

微生物和酶还具有分解蛋白质和脂肪等非碳水化合物能力。

目前“发酵”这一术语含义较为广泛，通常系指碳水化合物和类似碳水化合物在厌氧或需氧条件下的分解，它主要是描述最终产品而不是生化反应的机制。厌氧条件适宜于乳糖通过乳酸链球菌转化为乳酸，这是真正的发酵。需氧条件适宜于乙醇通过醋酸杆菌转化为醋酸，称之为氧化要比称之为发酵更加正确。然而一般惯用法往往无视这一区别，认为两种反应都是发酵。在本章和以后几章内，我们将遵循“发酵”这一术语的一般惯用法，把厌氧和需氧的碳水化合物分解都称之为发酵。

在食品行业中“发酵”一词的使用更加广泛。我们称之为“食品发酵”的是用来泛指食品原料在微生物的作用下转化为新的食品类型或饮料的过程。这种类型的食品总称为“发酵食品”。发酵食品是一类色、香、味、形等诸项调和的特殊食品，它是食品原料（包括本身的酶）经微生物作用所产生的一系列特定的酶所催化的生物、化学反应总和的代谢活动的产物。如啤酒、酱油、面包、豆腐乳等都是发酵食品。有些食品（如酿酒、酿醋）的发酵是以碳水化合物的分解作用为主，有的食品（如酱油）的发酵则主要是蛋白质的分解作用。传统发酵食品的工艺中微生物类群来源于自然界，而现代科技则采用微生物纯培养技术，这不仅能提高原料利用率，缩短生产周期，而且便于机械化生产，但其产品与传统的名特优珍品比较，有的虽保留了传统产品的某些特点，而其风味却有很大变化，这种现象已在白酒、黄酒、酱油、食醋、腐乳、酱腌菜等的生产中屡见不鲜。本书不仅对一些传统工艺作了介绍，而且对涉及的一些现代发酵工艺也有简单的叙述。

第二节 发酵食品的种类

发酵食品的品种极其繁多，比如世界上生产的干酪品种就有两千余种。这些发酵食品的分类方法和产品名称各地也不相同，这里我们把世界上部分发酵食品的名称、参与发酵的主要微生物种类及产品用途列表如下（表 1-1）。

表 1-1 世界传统发酵食品一览表

产品名称	产地	原料	发酵微生物	产品性状	用途
嗜酸乳杆菌奶	世界各地	牛奶	嗜酸乳杆菌	液体或固体	保健饮料
酸牛乳	世界各地	牛奶、脱脂奶粉	嗜热链球菌 保加利亚乳杆菌	半固体	饮料
干酪	世界各地	牛奶或羊奶	乳酸菌、青霉、丙酸菌等	固体	风味食物
克菲尔	高加索	牛奶	乳酸链球菌 保加利亚乳杆菌 色串孢霉菌属	液体	饮料
马奶酒	东南亚	马奶	保加利亚乳杆菌 色串孢霉菌属	液体	饮料
干香肠	欧洲、美国	猪肉、牛排	片球菌属	固体	菜肴
黎巴嫩香肠	美国	牛排	啤酒片球菌属	固体	菜肴
农家腌火腿	美国南部	猪肉	曲霉、青霉	固体	菜肴
鱼露	东南亚	小杂鱼	嗜盐细菌	液体	调味品

续表 1-1

产品名称	产地	原料	发酵微生物	产品性状	用途
丹 贝	东南亚等	大豆	少孢根霉菌	固体	主食或 调味品
花生丹贝	印尼等国	花生粕	少孢根霉菌	固体	主食或 调味品
可可豆	西非、南非	可可果	假丝酵母属 白地霉属	固体	风味剂
咖啡豆	巴西、刚 果、印度、 夏威夷	咖啡、坚 果	欧文氏菌属 酵母菌属	固体	风味食品
酸泡菜	世界各地	白菜、甘 蓝等	肠膜状明串珠菌 植物乳杆菌	固体 液体	风味小菜 调味品
酸黄瓜	世界各地	黄瓜	啤酒片球菌 植物乳杆菌	固体 液体	风味小菜 调味品
酸橄榄	世界各地	青橄榄	肠膜状明串珠菌 植物乳杆菌	固体 液体	风味小吃
酱 油	东南亚	大豆、小 麦	米曲霉、鲁氏酵 母、球拟霉酵母 菌属、片球菌属	液体	调味品
豆腐乳	中国	大豆	毛霉属或放线菌 属	固体	调味副食 品
豆 豉	中国、菲律 宾	大豆、面 粉	米曲霉、枯草杆 菌	固体	调味品
纳 豆	日本	大豆	枯草杆菌、总状 毛霉	固体	调味品、早 餐小菜
果 醋	世界各地	水果、果 汁	酵母属、醋酸菌 属	液体	调味品

续表 1-1

产品名称	产地	原料	发酵微生物	产品性状	用途
米醋	中国、日本	大米	黑曲霉、啤酒酵母、醋酸菌属	液体	调味品
面包	世界各地	面粉	啤酒酵母	固体	主食
酸面包	印度、美国	面粉	酵母、乳酸菌	固体	作主食
清酒 (黄酒)	中国、日本	大米	曲霉、根霉、酵母菌属	液体	饮料
酒酿	中国南方	糯米	米根霉、酵母菌属	酱状	饮料
白酒	中国	大米、高粱、豆麦类杂粮	霉菌、酵母菌属、其他芽孢杆菌属	液体	饮料
啤酒	世界各地	麦芽汁	啤酒酵母	液体	饮料
高粱啤酒	非洲	高粱	霉菌、酵母菌属、乳酸菌	液体	饮料
葡萄酒	世界各地	果汁	酵母菌属	液体	饮料

第三节 发酵食品与微生物

发酵食品生产是在自然环境中进行的。因此，涉及到的微生物种类将会很多。这些微生物可以是同时出现，也可能是分批出现，在发酵食品的生产过程中起着很大的作用。发酵食品中存在的微生物可以根据其作用及对人类的影响人为地划分为 4 大类：

第一类：病原微生物。这是指那些让人类致病的微生物

群。如沙门氏菌、肉毒梭菌等。

第二类：腐败微生物。这是指那些使食物腐败变质的微生物群。如凝结芽孢杆菌、嗜热脂肪芽孢杆菌等。

以上两类微生物又总称为有害微生物。它们是发酵工业的有害菌，阻碍着发酵过程的进行，并会引起发酵食品的变质、变味，是使食物腐败和引起食物中毒的根源，也是食品卫生检验的主要对象。在发酵食品生产过程中，我们必须尽量避免这两类微生物的污染，因为它们的存在会干扰正常的发酵过程，严重影响产品质量。

第三类：无效用微生物。这类微生物的存在对人类既无害又无益。如粪链球菌。

第四类：有益微生物。这是指对人类有益的微生物类群。如乳酸菌、酵母菌等，至于那些对发酵食品色、香、味、形的形成有贡献的所有微生物种群，我们则总称为发酵微生物，这类微生物是食品发酵的动力。在发酵食品生产中，我们就是利用这一群微生物的代谢活动完成食品原料向发酵食品的转化，使发酵食品具有丰富的营养价值，且赋予产品特有的香气、色泽和口感。本章主要介绍与发酵食品关系密切的几类重要微生物。

一、食品发酵与细菌

细菌在自然界分布甚广，特性各异，在这类菌中，有的是发酵工业的有益菌，有的是有害菌。

（一）乳酸杆菌属 (*Lactobacillus*)

乳酸杆菌属为革兰氏染色阳性菌，通常为细长的杆菌，大小为(0.5~1)微米×(2~10)微米，有的形成长丝，单生或成链，少数有双歧分枝或原始分枝。根据它利用葡萄糖进行同型

发酵或异型发酵的特性，将本属分为两群，即同型发酵群和异型发酵群。同型发酵群中又可根据生长最适温度的高温（37~45℃）、低温（28~32℃）分为两群。异型发酵群，生长适宜温度均为 28~32℃，多数种可发酵乳糖，都不利用乳酸，发酵后可使 pH 值下降至 6 以下，在 pH 值 5.5 条件下生长良好，一般不产生色素，偶有黄、橙或锈红色色素，无过氧化氢酶，不还原硝酸盐。异型发酵菌有多种形态，不抗酸，在无糖或无酵母膏的培养基上，生长极差或不生长。在有上述成分的固体培养基上，菌落较小或生长较慢，分解蛋白质的能力极弱，不分解脂肪。它们存在于乳制品、发酵植物性食品（如泡菜、酸菜等）、青贮饲料及人的肠道中，尤其是在婴儿肠道中。塑料、纺织等工业上及生产乳酸用高温发酵菌，一般食品工业、青贮饲料用的菌种多属低温发酵菌和乳酸球菌。在乳酸、酸乳、干酪等乳制品的生产中常用的菌种如下。

1. 乳酸乳杆菌 (*Lactobacillus lactis*) 它是微好氧或厌氧的细菌，对营养的要求高，宽度小于 2 微米，常呈长杆状，趋向于丝状，常卷曲。幼龄细胞为单个或成对，不运动，不形成芽孢。革兰氏染色为阳性，触酶为阴性。在固体培养基上，菌落粗糙，直径为 1~3 毫米，呈白色或浅灰色，生长适温为 40~43℃，同型发酵，分解葡萄糖产生 D-乳酸，能凝固牛乳，产酸度约 1.6%，用于制造干酪。

2. 德氏乳杆菌 (*Lactobacillus delbruckii*) 菌体细长，大小为 (0.5~0.8) 微米 × (2~9) 微米，单生或短链，不运动，革兰氏染色阳性，在琼脂培养基上菌落小，扁平。微好氧性，最适生长温度为 45℃。对牛奶无作用，能发酵葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、果糖、半乳糖、糊精，不发酵乳糖等。能产生 1.6% 的左旋乳酸。此菌在乳酸制造和乳酸钙制造工业上应用甚广。

3. 植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) 它是植物和乳制品中常见的乳酸杆菌，一般菌体大小为 (0.7~1)微米 × (3~8)微米，单生或成链，在不适宜的条件下则成长杆菌，不运动，革兰氏染色阳性。在葡萄糖、乳糖等中都能产生消旋乳糖，产酸能达到 1.2%。最适生长温度为 30℃。在干酪、奶子酒、发酵面团及泡菜中均有这种乳酸杆菌。

4. 保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus*) 此菌是酸乳生产的知名菌。该菌与乳酸乳杆菌关系密切，形态上无区别，只是对糖类发酵比乳杆菌少，是乳酸乳杆菌的变种。由于它由保加利亚的酸乳中分离出来，而得此名。

5. 干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*) 此菌细胞呈短杆状或长杆状，宽度小于 1.5 微米，两端为方形，常呈链状，无鞭毛，不运动，不形成芽孢，革兰氏染色为阳性，触酶呈阴性。同型发酵产生 L(+) 乳酸多于 D(-) 乳酸，用于生产乳酸、干酪及青贮饲料。

(二) 醋酸杆菌属 (*Acetobacter*)

此属幼龄菌革兰氏染色阴性，细胞为两端浑圆的杆状，单生、成对或成链。老龄菌革兰氏染色常为阳性。细胞形态多呈畸形如球形、丝状、棒状、弯曲状等。培养醋酸杆菌时需用含糖和酵母膏的培养基。它在肉汤蛋白胨培养基上生长不良。醋酸杆菌是专性好氧菌，喜欢在液面上繁殖并形成菌膜，生长的最适温度为 30℃。一般产醋量高的菌种，其生长最适温度高。它的最适 pH 值为中性或微酸性。醋酸杆菌无芽孢，对热的抵抗力很弱，在 60 下经 10 分钟即死亡。醋酸杆菌有较强的氧化能力，可将乙醇氧化为醋酸。虽然它对醋酸生产有利，但对酒类饮料有害。

醋酸杆菌在自然界中分布极广，在醋醪、水果、蔬菜表面

都可以找到。在制醋工业中常用的菌种如下。

1. 中科 AS1.41 恶臭醋酸菌 (*Acetobacter rancens*) 此菌为我国食醋生产中使用的优良菌种。细胞为杆形，常呈链锁状，大小为 $(0.3\sim 0.4)$ 微米 \times $(1\sim 2)$ 微米，无运动性，不产生芽孢。在长期培养、高温培养、含食盐过多或营养不足等条件下，细胞有时出现畸形，呈伸长形、线形或棒形，有的甚至呈管状膨大。生理特性为好气性，最适培养温度为 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 最适生酸温度为 $28\sim 33^{\circ}\text{C}$ 最适 pH 值为 $3.5\sim 6$ 。在含酒精 8% 的发酵醪中尚能很好生长，最高产酸量达 $7\%\sim 9\%$ (以醋酸计)。其转化蔗糖的能力很弱，产葡萄糖酸能力也很弱，能使醋酸氧化为二氧化碳和水，并能同化铵盐。

2. 醋酸菌巴氏醋酸菌 (*Acetobacter pasteurianus*) 巴氏亚种 (沪酿 1.01) 此菌为我国食醋生产常用菌种之一。细胞为杆状，常呈链状，无鞭毛，无运动性，无芽孢。生理特性为好气性，在含酒精的培养液中，常在表面生长，形成淡青灰色薄膜。能利用酒精氧化为醋酸时所释放出的能量而生存，或利用各种醇类及二糖类的氧化能而生存。在环境不良的条件下，营养不足或长久培养时，细胞有的呈伸长形、线状或棒状，有的呈膨大状或分枝状。该菌由上海市酿造科学研究所从丹东速酿醋中分离而得，其酒精产醋酸的转化率平均为 $93\%\sim 95\%$ 。

3. 醋化醋杆菌 (*Acetobacter aceti*) 此菌是食醋酿造的优良菌种，细胞为椭圆形或杆形，直或稍弯曲，大小为 $(0.6\sim 0.8)$ 微米 \times $(1\sim 3)$ 微米，单生，成对或成链。退化型细胞呈球状，或呈伸长的、膨胀的分枝或丝状体。周生鞭毛，运动或不运动，不形成芽孢。幼龄细胞为革兰氏阳性，能使黄酒等低度酒酸败。

4. 许氏醋酸杆菌 (*Acetobacter schutzenbachii*) 此菌是

国外有名的速酿醋菌种，也是目前制醋工业中较重要的菌种之一。此菌细胞为长椭圆形，有时呈镰刀形、弯杆状，培养 10 天后大小为 $(0.3\sim 0.4)$ 微米 \times $(1.6\sim 2.4)$ 微米，单独成对或成短链。在液体培养基中出现弯杆形，在固体培养基中出现直的近卵形。畸形和自发运动的细胞不存在。在液体中生长的适温为 $25\sim 27.5^{\circ}\text{C}$ ；固体培养的适温为 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 最高生长温度为 37°C 。此菌产酸可高达 11.5%，对醋酸没有进一步的氧化作用。

5. 胶膜醋酸杆菌 (*Acetobacter xylinum*) 此菌是一种特殊的醋酸菌，它在酒类的醪液中繁殖，能氧化乙醇成醋酸，引起酒液酸败、变粘。其生酸能力弱，能再分解醋酸为二氧化碳和水，故为制醋工业的有害菌。

(三) 链球菌属 (*Streptococcus*)

链球菌属细菌为革兰氏染色阳性菌，呈短链或长链状排列，其中有些是制造发酵食品有用的发酵菌种。

1. 乳链球菌 (*Streptococcus lactis*) 细胞为卵球形，略向链的方向延长 $0.5\sim 1$ 微米，大多成对或成短链，有些成长链，革兰氏染色阳性。可发酵多种糖类，在葡萄糖肉汤培养基中能使 pH 值下降到 $4.5\sim 4$ 。不水解淀粉及明胶。适宜生长温度为 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，于 45°C 不生长。在 4% 氯化钠培养基中生长，在 6.5% 氯化钠培养基中不生长。在 pH 值 9.2 时生长，pH 值 9.6 时不生长。无酪氨酸脱氢酶。应用于乳制品及我国传统食品工业。

2. 嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*) 其细胞呈圆形或卵圆形，直径为 $0.7\sim 0.9$ 微米，成对或长链。最适生长温度为 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，高于 53°C 不生长，低于 20°C 不生长，在 65°C 下加热 30 分钟菌种仍可存活。它常存在于牛乳、乳制品

及酸乳中。

(四) 明串珠菌属 (*Leuconostoc*)

明串珠菌属细菌为革兰氏阳性菌。菌体呈圆形或卵圆形，菌体排列成链状，常存在于水果、蔬菜中。能在含高浓度糖的食物中生长。如嗜橙明串珠菌 (*Leuconostoc citrovorum*) 和戊糖明串珠菌 (*Leuconostoc dextranicus*) 可作为制造乳制品的发酵剂。戊糖明串珠菌和肠膜状明串珠菌可用于制造代血浆。

肠膜状明串珠菌 (*Leuconostoc mesenteroides*) 的细胞呈球状，大小为 0.9~1.2 微米，成对。成短链或长链。在蔗糖液中，链外常有一厚层胶质无色葡聚糖荚膜，即代血浆（右旋糖酐）。革兰氏染色阳性，菌落小，灰白，隆起。不液化明胶，可发酵多种糖产酸产气，不还原硝酸盐，不产生吲哚。微好氧到兼性厌氧。此菌是制糖工业的一种有害菌，常使糖汁发生粘稠而无法加工，但它却是生产右旋糖酐的重要菌。

(五) 芽孢杆菌属 (*Bacillus*)

此菌为革兰氏阳性杆菌，需氧，能产生芽孢。在自然界分布很广，在土壤及空气中尤为常见。其中枯草芽孢杆菌是著名的分解蛋白酶及淀粉酶的菌种，纳豆杆菌是豆豉的生产菌，多粘芽孢杆菌是生产多粘菌素的菌种。有的菌株也会引起米饭及面包腐败变质。

枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 的菌落形态变化很大。细胞大小为 (0.7~0.8) 微米 × (2~3) 微米，单生，着色均匀，无荚膜，周生鞭毛，能运动，革兰氏染色阳性。芽孢大小为 (0.6~0.9) 微米 × (1~1.5) 微米，椭圆至柱状，中生至近中生，壁薄。芽孢囊不明显膨大，常为两端染色，菌落粗糙，不透明，不闪光，扩张，污白色或微带黄色。能液化明胶，胨化牛奶，还原硝酸盐，水解淀粉，好氧，可分解色氨酸成吲哚。枯草杆菌

BF7658 枯草杆菌 As1.398 目前主要分别用于生产 α -淀粉酶和蛋白酶。

二、食品发酵与酵母菌

自然界中存在的酵母菌很多，已知有几百种，它是生产中应用较早和较为重要的一类微生物，主要用于面包发酵、酒精制造和酿酒。在酱油、腐乳等产品的生产过程中，有些酵母菌和乳酸菌协同作用，可使产品产生特有的香味。现介绍其中与食品有关的重要酵母菌。

(一) 酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)

酿酒酵母又名啤酒酵母。为子囊菌纲，内孢霉目，酵母菌科，酵母菌属。在麦芽汁中 25℃ 培养 3 天，细胞由圆形、椭圆形至腊肠形。营养细胞可直接形成子囊，每一子囊有孢子 1~4 个，圆形，光面。按照细胞长与宽的比例可分为 3 组(表 1-2)。

表 1-2 酿酒酵母的分组

组别	细胞形状	细胞大小(微米)			主要著名菌株
		大型	中型	小型	
一组	多为圆形及短卵形,长与宽之比为 1~2,一般小于 2	4.5~10.5×	3.5~8×	2.5~7×	德国 M
		7~21	5~17.5	4.5~11	德国 2
				(~18.5)	德国 12
二组	多为卵形及长卵形,长与宽之比为 2	3.5~9.5×	3~7.5×	2.5~6×	葡萄酒酵母
		6~14	5~14	3.5~13	
三组	较前两组细胞长,长与宽之比大于 2	4~7×	3~6.5×	2.2~5.5×	魏氏酵母
		8~16	6.5~14	6~14	台湾 396
		(~22)	(~23)	(~33)	

第一组细胞无假菌丝或有较发达但不典型的假菌丝。这组酵母菌除了用作饮料酒酿造和面包制造的菌种外，俗称为德国 2 号和德国 12 号 (*Rasse I* 和 *Rasse XII*) 的是啤酒酵母种中有名的生产种。但因它不能耐高浓度盐类，只适用于糖化淀粉原料生产酒精和白酒。第二组细胞常形成假菌丝，但不发达也不典型。这组酵母主要用途为酿造葡萄酒和果酒，也有的用于啤酒业、蒸馏酒业和酵母工业。第三组酵母俗名为台湾 396 号酵母，我国南方常用它发酵甘蔗糖蜜生产酒精，这是因为它能耐高渗透压，可以经受高浓度的盐。

啤酒酵母生长在麦芽汁琼脂上的菌落为乳白色，有光泽，平坦，边缘整齐。啤酒酵母是酿造啤酒的典型上面酵母，广泛应用于啤酒、白酒、果酒的酿造和面包的制造，由于菌体的维生素、蛋白质含量高，亦可作药用和饲料酵母，具有较大的经济价值。啤酒酵母分布也很广泛，分布在各种水果的表面、发酵的果汁、土壤（尤其是果园土）和酒曲中。

(二) 卡尔斯伯酵母 (*Saccharomyces carlsbergensis*)

它因产于丹麦卡尔斯伯 (*Carlsberg*) 地方而得名，是啤酒酿造中的典型下面酵母。此菌于麦芽汁中 25℃ 培养 3 天后，细胞呈圆形、卵形、椭圆形或长形。在麦芽汁琼脂培养基上，菌落呈浅黄色，质软，具光泽，有微细的皱纹，边缘出现细的锯齿状，孢子的形成困难。能发酵葡萄糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖及全部棉子糖。它与啤酒酵母的主要区别是全发酵棉子糖，不同化硝酸盐，稍能利用酒精。供啤酒酿造底层发酵或作药用和饲料用。此外，它还是维生素测定菌，可用于测定泛酸、硫胺素、吡哆醇、肌醇。

(三) 球拟酵母 (*Torulopsis*)

球拟酵母属半细菌纲，丛梗孢目，隐球酵母科，球拟酵母

属。细胞呈球形、卵形或稍带长形，无假菌丝或仅有极原始的形式。多边芽殖。在液体培养基中产生沉淀及环，有时生菌膜。对多数糖有分解作用，具有耐受高浓度的糖和盐的能力，如酱及酱油生产中的易变球拟酵母及埃契氏球拟酵母。有的菌种具有酒精发酵力，能使葡萄糖转化为多元醇，如在工业上利用糖蜜生产甘油。

(四) 面包酵母 (*Bread yeast*)

面包酵母亦称压榨酵母、新鲜酵母、活性干酵母，是做面包时发酵用的酵母。其制法是将纯酵母移植于含糖的培养液内，在大量通气条件下，使之繁殖，再用高速离心机分离出培养液中的酵母，菌体经压滤机滤去过量的水，最后用压块机压成块状。面包酵母的主要特性是利用发酵糖类产生的大量二氧化碳和少量酒精、醛类及有机酸来提高面包风味时，发酵麦芽糖速度快，较耐盐和糖，储藏稳定，细胞含甘露聚糖，所以制成的酵母耐久性良好。

(五) 汉逊氏酵母属 (*Hansenula*)

此酵母细胞为球形、卵形或圆柱形，多边芽殖，常形成假菌丝。子囊形状与营养细胞相同，子囊孢子为 1~4 个，孢子形状为帽子形、球形、半球形或土星形，表面光滑。子囊成熟后破裂，放出子囊孢子。

此属酵母多能产生乙酸乙酯，并可从葡萄糖产生甘露葡萄糖，应用于纺织工业及食品工业。它有降解核酸的能力，并能微弱利用十六烷烃。它也常是饮料酒类的污染菌，在其表面生成干而皱的菌醭。由于此属酵母的大部分种能利用酒精为碳源，因此是酒精发酵工业的有害菌，例如异常汉逊氏酵母 (*Hansenula anomala*)。

异常汉逊氏酵母用麦芽汁 25℃ 培养 3 天，其细胞为圆

形、椭圆形、腊肠形，甚至为长细胞。多边芽殖，发酵液面有白色菌醭，培养液混浊，有菌体沉淀于管底。

生长在麦芽汁琼脂斜面上的酵母，菌落平坦，乳白色，无光泽，边缘丝状。能发酵葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、半乳糖、棉子糖。不能发酵乳糖、蜜二糖。能同化硝酸盐，分解杨梅苷。

异常汉逊氏酵母产生乙酸乙酯，故常对食品的风味起一定的作用，例如，可用于无盐发酵酱油的增香，参与薯干为原料的白酒的酿造，经浸香和串香法可酿造出比一般薯干白酒味道醇厚的白酒。

三、食品发酵与霉菌

霉菌是真菌的一部分 在自然界中分布极广 已知的约有 5 000 种以上，在发酵食品中经常使用的有以下几种。

(一) 毛霉属 (*Mucor*)

毛霉的外形呈毛状，菌丝细胞为无横隔、单细胞组成，出现多核，菌丝呈分枝状。

毛霉具有分解蛋白质的功能，如用来制造腐乳，可使腐乳产生芳香物质和蛋白质分解物（鲜味）。某些菌种具有较强的糖化力，可用于酒精和有机酸工业原料的糖化和发酵。另外，毛霉还常发生在水果、果酱、蔬菜、糕点、乳制品、肉类等食品上，引起食品腐败变质。现简单介绍鲁氏毛霉和总状毛霉。

1. 鲁氏毛霉 (*Mucor rouxianus*) 此菌种最初是从我国小曲中分离出来的，也是毛霉中最早被用于淀粉以菌丝制造乙醇的一个菌种。菌落在马铃薯培养基上呈黄色，在米饭上略带白色，孢子囊呈假轴状分枝，厚垣孢子数量很多，大小不一，黄色至褐色，无接合孢子。鲁氏毛霉能产生蛋白酶，有分解大豆的能力，我国多用来做豆腐乳。

2. 总状毛霉 (*Mucor racemosus*) 菌丝呈灰白色，菌丝直立而稍短，孢子囊柄总状分枝。孢子囊呈球形，黄褐色。接合孢子呈球形，有粗糙的突起，形成大量的厚垣孢子，在菌丝体、孢子囊柄甚至囊轴上都有，形状、大小不一，光滑，无色或黄色。我国四川的豆豉即用此菌制成。此菌是毛霉中分布最广的一种，几乎在各地土壤中、长霉的材料上、空气中和各种粪便中都能找到。

(二) 根霉属 (*Rhizopus*)

根霉的形态结构与毛霉类似。根霉在培养基或天然基质上生长时，营养菌丝长成弧形、匍匐状菌丝，由匍匐菌丝产生假根。从假根着生处向上丛生直立的孢子囊梗，不分枝。孢子囊梗的顶端膨大形成圆形的孢子囊，同时产生横隔。根霉菌丝只有在形成孢子囊及厚垣孢子时才形成横隔。孢子囊成熟后孢囊壁破裂，孢子囊孢子散出，有球形、卵形和不规则形。

根霉的用途很广，它能产生淀粉酶，使淀粉转化为糖，是酿酒工业常用的发酵菌。但根霉常会引起粮食及其制品霉变。其代表菌种有：黑根霉、米根霉、无根根霉。

1. 黑根霉 (*Rhizopus nigricans*) 菌落生长初期为白色，后期为灰褐色至黑褐色。匍匐枝爬行，无色。假根非常发达，呈根状，棕褐色。孢子囊梗着生于假根处，直立，通常 2~3 根群生，囊托楔形。菌丝上一般不形成厚垣孢子。接合孢子呈球形，有粗糙的突起，直径为 150~220 微米。此菌的最适生长温度为 30℃，37℃ 时不能生长。有发酵乙醇的能力，但极微弱。能产生果胶酶，常引起水果的腐烂和甘薯的软腐。

黑根霉在自然界中到处都存在，尤其在长霉的食品及腐烂的瓜、果、蔬菜、甘薯中，都可以找到。

2. 米根霉 (*Rhizopus oryzae*) 菌落疏松或稠密，初期为

白色，后期变为灰褐色至黑褐色。匍匐枝爬行，无色。假根发达，呈根状或指状分枝，褐色。孢子梗直立或稍弯曲，2~4根群生，有时膨大或分枝。囊托楔形，菌丝形成厚垣孢子，无接合孢子，发育温度为30~35℃，最适温度为37℃，41℃时不能生长。此菌有糖化淀粉、转化蔗糖的能力。

米根霉在我国酒药和酒曲中常见到，在土壤、空气及其他物质中亦常见。

3. 无根根霉 (*Rhizopus arrhizus*) 菌落初期为白色，后期为褐色。匍匐枝分化不明显。假根极不发达，呈短指状或无假根。孢子囊柄直立或稍弯曲，单生，较少2~3株成熟，有时在孢囊梗上有囊状膨大。接合孢子呈球形，有粗糙的突起。厚垣孢子的形状、大小不一。此菌对温度的适应范围同米根霉。此菌可产生乳酸、脂肪酶等。它可发酵豆类和谷类食品。

(三) 曲霉属 (*Aspergillus*)

曲霉菌在国民经济中有重要作用，它包括许多发酵工业中应用的一些菌种。属不整子囊菌纲，散囊菌目，散囊菌科。曲霉的菌丝体是由具有横隔的分枝菌丝构成。一般情况下无色，老熟后可呈黑、棕、黄、绿、红等颜色。营养菌丝多匍匐生长于培养基的表面，无假根，菌丝具横隔膜，为多细胞菌丝。随着培养基中匍匐菌丝分化出具有厚壁的足细胞，足细胞上便长出直立的分生孢子梗。孢子梗的顶端膨大成顶囊，顶囊有棍棒形、椭圆形、半球形或球形。顶囊上生辐射状的小梗，小梗成单层或双层，小梗顶端分生孢子成串状，不同菌种的孢子，其形状、颜色、大小都不同，这些特征都是鉴定曲霉菌的重要依据。

曲霉菌具有分解有机质的能力，可应用于酿造等方面作为糖化的菌种，发酵食品及酿酒工业中常应用的米曲霉群及黑曲霉是较著名的曲霉，现对其介绍如下。