



北京市高等教育精品教材立项项目

国家示范性高职院校建设项目成果系列教材

发酵食品加工与检测

杨国伟 主编

FAJIAO SHIPIN
JIAGONG YU
JIANCE



化学工业出版社



北京市高等教育精

国家示范性高职院校建设项目成果系列教材

发酵食品加工与检测

杨国伟 主编

FAJIAO SHIPIN
JIAGONG YU
JIANCE



化学工业出版社

·北京·

本书为国家示范性高职院校一线教师和企业专家共同开发的教改成果教材。本教材打破传统的学科体系，以项目为载体，让学生在完成项目的过程中学习知识，训练技能，提升职业综合素质。本书共分7个项目：啤酒加工与检测、白酒加工与检测、葡萄酒加工与检测、腐乳加工与检测、酱油加工与检测、食醋加工与检测、味精加工与检测。教材编写结合生产实际，编写过程注重思路上的突破和创新，突出实用性。教材结构完整，内容详略得当，文字精练，图文并茂。

本书适合高职高专院校生物技术、食品相关专业的学生使用，也可供有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

发酵食品加工与检测/杨国伟主编. —北京: 化学工业出版社, 2011. 8

北京市高等教育精品教材立项项目 国家示范性高职院校建设项目成果系列教材

ISBN 978-7-122-07858-2

I. 发… II. 杨… III. ①发酵食品-食品加工-高等职业教育-教材②发酵食品-食品检验-高等职业教育-教材 IV. TS26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 122918 号

责任编辑: 李植峰

文字编辑: 李 瑾

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 张 辉

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: 北京市白帆印务有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 272 千字 2011 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 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: 24.00 元

版权所有 违者必究

“国家示范性高职院校建设项目成果系列教材” 建设委员会成员名单

主任委员 安江英

副主任委员 么居标

委员 (按姓名汉语拼音排列)

安江英 陈洪华 陈淦漪 龚戈萍 马 越 苏东海

王利明 辛秀兰 么居标 张俊茹 钟桂英 周国烛

“国家示范性高职院校建设项目成果系列教材” 编审委员会成员名单

主任委员 辛秀兰

副主任委员 马 越

委员 (按姓名汉语拼音排列)

曹奇光 陈红梅 陈禹保 高春荣 兰 蓉 李 淳

李双石 李晓燕 刘俊英 刘 玮 刘亚红 鲁 绯

马长路 马 越 师艳秋 苏东海 王晓杰 王维彬

危 晴 吴清法 吴志明 谢国莉 辛秀兰 杨春花

杨国伟 苑 函 张虎成 张晓辉

《发酵食品加工与检测》编写人员

主 编 杨国伟（北京电子科技职业学院）

编写人员（按姓名汉语拼音排列）

池永红（包头轻工职业技术学院）

蒋大勇（北京老才臣食品有限公司）

林智平（燕京啤酒集团）

鲁 绯（北京食品酿造研究所）

鲁 军（北京电子科技职业学院）

彭 坚（北京王致和食品集团）

盛 力（北京牛栏山二锅头酒厂）

苏东海（北京电子科技职业学院）

王德良（中国食品发酵研究院）

杨丹红（王致和食品集团）

杨国伟（北京电子科技职业学院）

杨永峰（北京龙徽葡萄酒有限公司）

前 言

根据教育部高职高专培养目标要求，本书在编写过程中体现职业教育特点，实践教学内容以企业真实内容为载体，突出职业性、应用性、实践性和针对性，注重实践能力和职业技能的培养，同时引入行业的新知识、新技术、新工艺，符合工学结合的需求，体现开放性的要求。

教材编写结合生产实际，编写过程注重思路上的突破和创新，由企业生产技术人员参与编写，突出实用性。教材结构完整，内容详略得当，文字精练，图文并茂，获北京市高等教育精品教材立项项目资助。

本书共分7个任务：啤酒加工与检测、白酒加工与检测、葡萄酒加工与检测、腐乳加工与检测、酱油加工与检测、食醋加工与检测、味精加工与检测。教材编写分工如下：杨国伟、林智平编写任务一；王德良、盛力编写任务二；池永红编写任务三；杨永峰、鲁军编写任务四；蒋大勇、苏东海编写任务五；彭坚、鲁绯编写任务六；杨丹红编写任务七；全书由杨国伟审核统稿。

本书适宜作为高职高专院校食品类、生物技术类专业的教材，同时也可供本科院校、中职学校等相关专业的师生参考使用，也可作为企业工程技术人员的技术参考书和企业员工的技术培训教材。

限于编著者的学识和水平，书中难免存在着不妥和疏漏之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编者
2011年6月

目 录

导论	1	任务三 葡萄酒加工与检测	65
※知识链接	1	※实践操作	65
一、发酵食品概述	1	一、酵母的分离纯化与扩大培养	65
二、发酵食品与微生物	3	二、酵母菌的发酵性能测定	67
※任务小结	10	三、葡萄酒生产工艺	68
※知识检测	10	四、果酒中单宁的测定	69
任务一 啤酒加工与检测	11	五、葡萄酒中总糖的测定	70
※实践操作	11	六、葡萄酒的品评	72
一、麦芽汁的制备	11	※知识链接	73
二、糖化	12	一、葡萄酒概述	73
三、酵母菌扩大培养	14	二、葡萄的构造及组成成分	74
四、啤酒生产实训	15	三、葡萄酒生产基本原理及相关微 生物	76
※知识链接	16	四、葡萄酒发酵前的准备工作	78
一、啤酒概述	16	五、葡萄酒的酿造	80
二、原辅料和生产用水	17	六、葡萄酒的贮存及后处理	86
三、啤酒生产基本原理及其酵母菌	20	七、成品葡萄酒	88
四、麦芽制备	21	※任务小结	91
五、麦芽汁制造	26	※知识检测	92
六、啤酒发酵	33	任务四 腐乳加工与检测	94
七、成品啤酒	36	※实践操作	94
※任务小结	39	一、毛霉的分离纯化	94
※知识检测	40	二、豆腐乳的制备	95
任务二 白酒加工与检测	42	※知识链接	96
※实践操作	42	一、腐乳概述	96
一、白酒酒精度的测定	42	二、腐乳生产的原辅料	98
二、白酒中甲醇的测定	43	三、豆腐坯的生产	100
三、白酒中杂醇油的测定	44	四、腐乳发酵理论	101
四、白酒酿制	45	五、豆腐乳发酵工艺	103
五、白酒的品评	46	六、腐乳的质量标准及生产技术 指标	108
※知识链接	47	※任务小结	110
一、白酒概述	47	※知识检测	110
二、白酒生产的原辅料及处理	49	任务五 酱油加工与检测	111
三、白酒生产的基本原理	51	※实践操作	111
四、大曲酒生产工艺	53	一、酱油种曲孢子发芽率测定	111
五、白酒的质量规格、技术指标及 检测	59	二、酱油种曲孢子数测定	112
※任务小结	62	三、酱油中氨基酸态氮含量的测定	113
※知识检测	63		

四、酱油及盐渍品中食盐含量的测定	114	五、食醋酿造工艺	145
※知识链接	115	六、我国几种名特醋产品的酿造方法	147
一、酱油概述	115	七、食醋质量标准	149
二、酱油原料及处理	116	※任务小结	150
三、种曲制造	118	※知识检测	151
四、制曲	120	任务七 味精加工与检测	153
五、液化及糖化	122	※实践操作	153
六、酱油发酵	123	一、淀粉酶解糖液的制备	153
七、酱油的浸出、加热和配制	127	二、谷氨酸发酵工艺	154
八、酱油的储存包装	129	※知识链接	156
九、成品酱油的质量标准	129	一、味精概述	156
※任务小结	132	二、谷氨酸生产菌株	157
※知识检测	133	三、谷氨酸的发酵机制	159
任务六 食醋加工与检测	135	四、谷氨酸发酵技术	159
※实践操作	135	五、谷氨酸发酵	163
一、醋醪中醋酸菌的分离	135	六、谷氨酸提取方法	164
二、食醋酿造	136	七、谷氨酸制造味精	166
※知识链接	137	※任务小结	169
一、食醋概述	137	※知识检测	169
二、制醋原料及其处理	137	参考文献	170
三、糖化发酵剂	138		
四、食醋发酵的基本原理	143		

导 论

【知识目标】

1. 发酵食品的概念。
2. 发酵食品的分类及特点。
3. 发酵食品中酵母菌、霉菌、细菌的种类及用途。

【技能目标】

能正确培养微生物，对菌种能进行转接、培养、保藏。

※ 知识链接

一、发酵食品概述

发酵食品是指经过微生物（酵母菌、霉菌和细菌）或酶的作用下使加工原料发生许多理想的十分重要的生物化学变化及物理变化后制成的食品。

（一）发酵食品的种类

1. 根据所利用的微生物种类分类

（1）利用酵母菌进行发酵的产品 啤酒、葡萄酒、果酒、白兰地、食用酵母、B族维生素等。

（2）利用霉菌进行发酵的制品 蛋白酶、果胶酶、糖化酶、苹果酸、柠檬酸、豆腐乳、豆豉等。

（3）利用细菌进行发酵的制品 乳酸、谷氨酸、赖氨酸、酸乳、蛋白酶、淀粉酶等。

（4）酵母与霉菌混合使用的发酵制品 黄酒、酒酿等。

（5）酵母与细菌混合使用的发酵制品 腌菜、奶酒、果醋、双菌饮料等。

（6）酵母、霉菌、细菌混合使用的发酵制品 食醋、白酒、酱油及酱类发酵制品等。

2. 按照所用原料分类

（1）粮谷类发酵制品 面包、啤酒、米酒、黄酒、白酒、食醋等。

（2）发酵豆制品 酸豆奶、豆腐乳、豆酱、豆豉、纳豆等。

（3）发酵肉制品 发酵香肠、培根等。

（4）发酵果蔬制品 果酒、果醋、果汁发酵饮料、蔬菜发酵饮料、泡菜等。

（5）发酵水产制品 鱼露、虾油、蟹酱等。

（6）其他发酵原料发酵制品 食用菌发酵产品、藻类发酵产品等。

3. 根据发酵工业部门分类

（1）调味品酿造工业产品 酱油、食醋、豆酱、泡菜、纳豆等。

（2）酿酒工业产品 白酒、啤酒、黄酒、葡萄酒、白兰地、威士忌等。

（3）有机酸发酵工业产品 柠檬酸、苹果酸、葡萄糖浆、醋酸等。

2 发酵食品加工与检测

(4) 氨基酸发酵工业产品 谷氨酸、鸟氨酸、赖氨酸等。

(5) 酶制剂发酵工业产品 淀粉酶、果胶酶、纤维素酶。

(6) 功能性食品生产工业产品 葡萄糖、灵芝多糖、微生物油脂、微生物制剂等。

(7) 食品添加剂生产工业产品 黄原胶、红曲色素、乳酸菌素等。

(8) 维生素发酵工业产品 维生素 C、维生素 B₂、维生素 B₁₂等。

(9) 菌体制造工业产品 单细胞蛋白、食用菌、藻类、酵母等。

(10) 核苷酸发酵工业产品 三磷酸腺苷 (ATP)、鸟嘌呤核苷酸 (GMP)、肌苷酸 (IMP) 等。

4. 按照传统发酵食品 and 现代发酵食品的概念分类

(1) 传统发酵食品 白酒、啤酒、黄酒、葡萄酒、酱油、腐乳、食醋、泡菜、豆酱、发酵香肠等。

(2) 现代发酵食品 蛋白酶、淀粉酶、柠檬酸、苹果酸、食用酵母、细菌多糖、维生素 C、维生素 B₂、维生素 B₁₂等。

(二) 发酵食品的特点

1. 有利于食品保藏

食品经过发酵改变了食品的渗透压、酸度等，从而可以抑制腐败菌微生物的生长，有利于延长食品保藏的时间。

2. 提高食品的安全性

发酵食品具有较高的食用安全性。尽管某些发酵食品生产的卫生条件较差，生产者也不具备微生物学等专业知识，但是其发酵产品确有较高的安全性记录。其安全因素如下。

① 有益微生物的生长阻止了有害微生物的生长和繁殖 (例如：丹贝生产)。

② 经微生物的代谢作用，产生了有机酸、乙醇等杀菌剂，抑制了有害微生物的生长 (例如：酸奶和酒类的生产)。

③ 经微生物的代谢作用，蛋白质被水解为肽和氨基酸，并产生氨气，使环境的 pH 值升高，抑制了有害微生物的生长 (例如：豆豉和纳豆的生产)。

④ 某些发酵食品生产伴随有盐制过程，而食盐具有抑菌作用 (例如：腐乳和酱油的生产)。

⑤ 某些微生物具有脱毒作用，从而提高了食品的安全性。

3. 营养保健作用

营养食品应含有人体所需的各种营养素 (蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素和无机盐)，提供人体所需要的能量，维持生命活动和健康。

发酵食品是优质的营养食品，尤其是经过微生物的发酵作用，其蛋白质和维生素等营养素得到增富，能满足各类消费者的需求。经常食用发酵食品可以免除多种营养缺乏病症。某些食品经过发酵后，不仅能产生酸类和醇类，还可产生抗生素等，对一般致病菌有抑制作用。发酵食品如酸奶等，除可抑制致病菌外，对肠内腐败菌的抑制力也很强，有些发酵食品还具有防治心血管疾病、改善便秘、降低胆固醇、提高免疫功能和抗癌等作用。

4. 易于消化吸收

某些食品经过发酵后其营养成分如蛋白质、碳水化合物、脂肪等经过发酵作用可降解为氨基酸、有机酸、单糖等小分子物质，一些不能被人体利用的物质如乳糖、棉籽糖等经过发酵作用后转变成能被人体利用的形式，更易于消化吸收。

5. 改善食品的风味和结构

如木薯经发酵产生甘露醇和双乙酰而改善风味；酸奶发酵生成的乙醛、双乙酰和 3-羟基丁酮等得到愉快的口感；蛋白酶水解酪蛋白使奶酪具有理想的柔软结构等；增加膳食食品种。

二、发酵食品与微生物

发酵食品是指经过微生物（酵母菌、霉菌和细菌）或酶的作用使加工原料发生许多理想的十分重要的生物化学变化及物理变化后制成的食品。本节主要介绍跟发酵食品相关的几种微生物。

（一）发酵食品与酵母菌

1. 啤酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)

啤酒酵母属于典型的上面酵母，又称爱丁堡酵母。广泛应用于啤酒、白酒酿造和面包制作。

(1) 啤酒酵母的形态特征 细胞呈圆形或短卵圆形，大小为 $(3\sim 7)\mu\text{m}\times(5\sim 10)\mu\text{m}$ ，通常聚集在一起，不运动。体细胞都能以多边出芽方式进行无性繁殖，能形成有规则的假菌丝（芽簇），但无真菌丝。有性繁殖为 2 个单倍体细胞同宗或异宗接合或双倍体细胞直接进行减数分裂形成 1~4 个子囊孢子。细胞形态往往受培养条件的影响，但恢复原有的培养条件，细胞形态即可恢复原状。

(2) 啤酒酵母的培养特征 麦芽汁固体培养，菌落呈乳白色，不透明，有光泽，表面光滑湿润，边缘略呈锯齿状；随培养时间延长，菌落颜色变暗，失去光泽。麦芽汁液体培养，表面产生泡沫，液体变混，培养后期菌体悬浮在液面上形成酵母泡盖。因此又称为上面酵母。

(3) 啤酒酵母的生理生化特性 化能异养型，能发酵葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖和麦芽三糖以及 1/3 的棉籽糖，不发酵蜜二糖、乳糖和甘油醛，也不发酵淀粉、纤维素等多糖。

不分解蛋白质，可同化氨基酸和氨态氮，不同化硝酸盐。需要 B 族维生素和 P、S、Ca、Mg、K、Fe 等无机元素。

兼性厌氧，有氧条件下，将可发酵性糖类通过有氧呼吸作用彻底氧化为 CO_2 和 H_2O ，释放大能量供细胞生长；无氧条件下，使可发酵性糖类通过发酵作用（EMP 途径）生成酒精和 CO_2 ，释放较少能量供细胞生长。

最适生长温度 25°C ，发酵最适温度 $10\sim 25^\circ\text{C}$ 。最适发酵 pH 为 $4.5\sim 6.5$ 。真正发酵度达 $60\%\sim 65\%$ 。

2. 卡尔酵母 (*Saccharomgces carlsbergensis*)

卡尔酵母属于典型的下面酵母，又称卡尔斯伯酵母或嘉士伯酵母。是常用于啤酒酿造、药物提取以及维生素测定的菌种。

(1) 卡尔酵母的形态特征 细胞呈椭圆形，大小为 $(3\sim 5)\mu\text{m}\times(7\sim 10)\mu\text{m}$ ，通常分散独立存在，不运动。单倍体细胞或双倍体细胞大多都以单端出芽方式进行无性繁殖，能形成不规则的假菌丝，但无真菌丝。采用特殊方法培养才能进行有性生殖形成子囊孢子。

(2) 卡尔酵母的培养特征 麦芽汁固体培养，菌落呈乳白色，不透明，有光泽，表面光滑湿润，边缘整齐；随培养时间延长，菌落颜色变暗，失去光泽。

麦芽汁液体培养，表面产生泡沫，液体变混，培养后期菌体沉降于容器底部，因此又称为下面酵母。

(3) 卡尔酵母的生理生化特点 化能异养型，能发酵葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖、蜜二糖、麦芽三糖和甘油醛以及全部的棉籽糖，不发酵乳糖以及淀粉、纤维素等多糖。

不分解蛋白质，不还原硝酸盐，可同化氨基酸和氨态氮。需要 B 族维生素以及 P、S、Ca、Mg、K、Fe 等无机离子。

兼性厌氧，有氧条件下，将可发酵性糖类通过有氧呼吸作用彻底氧化为 CO_2 和 H_2O ，释放大能量供菌体繁殖；无氧条件下，使可发酵性糖类通过发酵作用（EMP 途径）生成酒精和 CO_2 ，释放较少能量供细胞繁殖。

最适生长温度 25°C ，啤酒发酵最适温度 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 。最适发酵 pH 为 $4.5\sim 6.5$ ，真正发酵度为 $55\%\sim 60\%$ 。

3. 葡萄酒酵母 (*Saccharomyces ellipsoideus*)

葡萄酒酵母属于啤酒酵母的椭圆变种，简称椭圆酵母。常用于葡萄酒和果酒的酿造。

(1) 葡萄酒酵母的形态特征 细胞呈椭圆形或长椭圆形，大小为 $(3\sim 10)\mu\text{m}\times(5\sim 15)\mu\text{m}$ ，不运动。单倍体细胞或双倍体细胞都能以多边出芽方式进行无性繁殖，形成有规则的假菌丝。

在不利环境条件下进行有性繁殖：2 个单倍体细胞同宗或异宗接合或双倍体细胞直接进行减数分裂形成 1~4 个子囊孢子。细胞形态往往受培养条件的影响，但恢复原有的培养条件，细胞形态即可恢复原状。

(2) 葡萄酒酵母的培养特征 葡萄汁固体培养，菌落呈乳黄色，不透明，有光泽，表面光滑湿润，边缘整齐；随培养时间延长，菌落颜色变暗。

液体培养变混浊，表面形成泡沫，絮凝性较强，培养后期菌体沉降于容器底部。

(3) 葡萄酒酵母的生理生化特点 化能异养型，可发酵葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖、麦芽三糖以及 $1/3$ 的棉籽糖，不发酵蜜二糖、乳糖和甘油醛，也不发酵淀粉、纤维素等多糖。

不分解蛋白质，不还原硝酸盐，可同化氨基酸和氨态氮。需要 B 族维生素和 P、S、Ca、Mg、K、Fe 等无机元素。

兼性厌氧，有氧条件下，将可发酵性糖类通过有氧呼吸作用彻底氧化为 CO_2 和 H_2O ，释放大能量供菌体繁殖；无氧条件下，使可发酵性糖类通过发酵作用（EMP 途径）生成酒精和 CO_2 ，释放较少能量供细胞繁殖。

最适生长温度 25°C ，葡萄酒发酵最适温度为 $15\sim 25^\circ\text{C}$ 。最适发酵 pH 为 $3.3\sim 3.5$ 。耐酸、耐乙醇、耐高渗、耐二氧化硫能力强于啤酒酵母。葡萄酒发酵后乙醇含量达 16% 以上。

4. 面包酵母 (bread yeast)

面包酵母又叫压榨酵母、活性干酵母、鲜酵母，它是用酵母液经压榨制成的，使用方便，但不易久存。且因活性干酵母是由压榨酵母经低温干燥而成，其发酵力有所减弱，使用时须活化再用。

酵母在面包中所起的作用如下。

① 使面包结构膨松。酵母菌在发酵过程中产生大量的二氧化碳能使面包疏松多孔，呈海绵状。

② 改善面包的风味。酵母菌在发酵过程中产生的酒精和其他物质，与面团中的有机酸在烘烤中形成特有的香味。

③ 增加面包的营养价值。酵母细胞含有丰富的营养物质，菌体残留在面包中，因而提高了发酵食品的营养价值。

5. 汉逊酵母属 (*Hansenula*)

细胞圆形、椭圆形、腊肠形，多边芽殖，营养细胞有单倍体或二倍体，发酵或不发酵，可产生乙酸乙酯，同化硝酸盐。此菌能利用酒精为碳源在饮料表面形成皮膜，为酒类酿造的有害菌。代表种为异常汉逊酵母 (*Hansenula anomala*)，因能产生乙酸乙酯，有时可用于食品的增香。

6. 产蛋白假丝酵母 (*Candida utilis*)

(1) 产蛋白假丝酵母的形态特征 细胞呈圆形、椭圆形或腊肠形，大小为(3.5~4.5) $\mu\text{m} \times (7.0 \sim 13.0) \mu\text{m}$ ，以多边出芽方式进行无性繁殖，形成假菌丝。没有发现有性生殖和有性孢子，属于半知菌类酵母菌。

(2) 产蛋白假丝酵母的培养特征 麦芽汁固体培养，菌落呈乳白色，表面光滑湿润，有光泽或无光泽，边缘整齐或菌丝状；玉米固体培养产生原始状假菌丝。

葡萄糖酵母汁蛋白胨液体培养，表面无菌膜，液体混浊，管底有菌体沉淀。

(3) 产蛋白假丝酵母的生理生化特点 化能异养型，能发酵葡萄糖、蔗糖和 1/3 的棉籽糖，不发酵半乳糖、麦芽糖、乳糖、蜜二糖。能同化尿素、铵盐和硝酸盐，不分解蛋白质和脂肪。

兼性厌氧，有氧条件下，进行有氧呼吸；无氧条件下，进行酒精发酵。

最适生长温度为 25℃，最适生长 pH 为 4.5~6.5。

在发酵工业中，常采用富含半纤维的纸浆废液、稻草、稻壳、玉米芯、木屑、啤酒废渣等水解液和糖蜜为主要原料，培养产蛋白假丝酵母，生产食用或饲用单细胞蛋白和 B 族维生素。

(二) 发酵食品与细菌

1. 醋酸杆菌属 (*Acetobacter*)

细胞呈椭圆形杆状，革兰染色阳性，无芽孢，有鞭毛或无鞭毛，运动或不运动，醋酸杆菌属的形态不稳定，老化细胞或在不宜条件培养，菌细胞常出现多形态性；其中极生鞭毛菌不能将醋酸氧化为 CO_2 和 H_2O ，而周生鞭毛菌可将醋酸氧化成 CO_2 和 H_2O 。不产色素，液体培养形成菌膜。

化能异养型，能利用葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、酒精作为碳源，可利用蛋白质水解物、尿素、硫酸铵作为氮源，生长繁殖需要的无机元素有 P、K、Mg。

严格好氧，接触酶反应阳性，具有醇脱氢酶、醛脱氢酶等氧化酶类，因此除能氧化酒精生成醋酸外，还可氧化其他醇类和糖类生成相应的酸和酮。具有一定的产酯能力。最适生长温度 30~35℃，不耐热。最适生长 pH 值为 3.5~6.5。某些菌株耐酒精和耐醋酸能力强。不耐食盐，因此醋酸发酵结束后，添加食盐除调节食醋风味外，还可防止醋酸菌继续将醋酸氧化为 CO_2 和 H_2O 。

工业上常见的菌种如下。

(1) 纹膜醋酸杆菌 (*A. aceti*) 培养时液面形成乳白色、皱褶状的黏性菌膜。摇动时，液体变混浊。能产生葡萄糖酸，最高产醋酸量 8.75%。最适生长温度为 30℃，能耐 14%~15% 的酒精。

(2) 奥尔兰醋酸杆菌 (*A. orleanense*) 属纹膜醋酸杆菌的亚种，也是法国奥尔兰地区

用葡萄酒生产食醋的菌种。最高产醋酸量 2.9%，耐酸能力强，能产生少量的酯。最适生长温度为 30℃。

(3) 许氏醋杆菌 (*A. Schutzenbachii*) 它是法国著名的速酿食醋菌种，也是目前酿醋工业重要的菌种之一。最高产醋酸量达 11.5%。对醋酸没有进一步的氧化作用，耐酸能力较弱。最高生长温度为 37℃。

(4) 醋酸杆菌 AS1.41 是我国酿醋工业常用菌种之一。产醋酸量 6%~8%，可将醋酸进一步氧化为 CO₂ 和 H₂O。最适生长温度 28~30℃，耐酒精浓度 8%。

2. 乳杆菌属 (*Lactobacillus*)

(1) 乳杆菌属的形态特征 细胞呈杆状，多为长杆状、短杆状及棒杆状，一般成短链排列。革兰染色阳性，通常不运动，无芽孢。

(2) 乳杆菌属的生理生化特点 化能异养型，营养要求严格，生长繁殖需要多种氨基酸、维生素、肽、核酸衍生物。厌氧、耐氧性厌氧或兼性厌氧；生长最适 pH 为 5.5~6.2，在 pH≤5 的环境中可生长，而中性或初始碱性条件下生长速率降低。生长温度范围 2~53℃，最适生长温度为 30~40℃。可还原硝酸盐，不液化明胶，不分解酪素，联苯胺反应阴性，不产生吲哚和 H₂S，多数菌株可产生少量的可溶性氮。

常见的乳杆菌属的代表种如下。

① 保加利亚乳杆菌 (*L. bulgaricus*)。细胞形态长杆状，两端钝圆。固体培养基生长的菌落呈棉花状，易与其他乳酸菌区别。能利用葡萄糖、果糖、乳糖进行同型乳酸发酵产生 D 型乳酸（有酸涩味，适口性差），不能利用蔗糖。该菌是乳酸菌中产酸能力最强的菌种，其产酸能力与菌体形态有关，菌形越大，产酸越多，最高产酸量 2%；如果菌形为颗粒状或细长链状，产酸较弱，最高产酸量 1.3%~2.0%。蛋白质分解力较弱，发酵乳中可产生香味物质乙醛。最适生长温度 37~45℃，温度高于 50℃ 或低于 20℃ 不生长。常作为发酵酸奶的生产菌。

② 嗜酸乳杆菌 (*L. acidophilus*)。细胞形态比保加利亚乳杆菌小，呈细长杆状，能利用葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖进行同型乳酸发酵产生 DL 型乳酸，生长繁殖需要一定的维生素等生长因子，37℃ 培养生长缓慢，2~3 天可使牛乳凝固。因而，在发酵剂制造及嗜酸菌乳生产中，常在原料乳培养基中添加 5% 的番茄汁或胡萝卜汁。蛋白质分解力较弱。最适生长温度 37℃，20℃ 以下不生长，耐热性差。最适生长 pH 为 5.5~6.0，耐酸性强，能在其他乳酸菌不能生长的酸性环境中生长繁殖。嗜酸乳杆菌是能够在人体肠道定殖的少数有益微生物菌群之一，其代谢产物有机酸和抗菌物质——乳杆菌素 (*Lactocidin*) 可抑制病原菌和腐败菌的生长。

③ 德氏乳杆菌。微好氧性，最适生长温度为 45℃。对牛乳无作用，能发酵葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、果糖、半乳糖、糊精，不发酵乳糖等。此菌在乳酸制品和乳酸钙制品中应用广泛。

④ 干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*)。是革兰阳性菌，不产芽孢，无鞭毛，不运动，兼性异型发酵乳糖；最适生长温度为 37℃，能发酵多种糖。是牛奶、酸乳、豆奶、奶油和干酪等乳制品的发酵剂及辅助发酵剂，尤其在干酪中的应用较多。

⑤ 植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)。是革兰阳性菌，细胞短杆状，单个或成链；不运动，兼性厌氧菌，能在 4% NaCl 中生长；最适温度为 30~35℃，最适 pH 为 5.5~6.2。在干酪、发酵面团、泡菜中有这种乳酸杆菌。

3. 链球菌属 (*Streptococcus*)

(1) 链球菌属的形态特征 细胞呈球形或卵圆形, 成对或成链排列。革兰染色阳性, 无芽孢, 一般不运动, 不产生色素。但肠球菌群中某些种能运动或产色素。

(2) 链球菌属的生理生化特点 化能异养型, 同型乳酸发酵产生右旋乳酸; 兼性厌氧型, 接触酶反应阴性, 厌氧培养生长良好。常见的链球菌属代表种有如下几种。

① 嗜热链球菌 (*St. thermophilus*)。细胞形态呈链球状, 能利用葡萄糖、果糖、乳糖和蔗糖进行同型乳酸发酵产生 L 型乳酸 (适口性好)。该菌能在高温条件下产酸, 最适生长温度为 40~45℃, 温度低于 20℃ 不产酸。耐热性强, 能耐 65~68℃ 的高温。常作为发酵酸乳, 干酪的生产菌。

② 乳酸链球菌 (*St. lactis*)。细胞形态呈双球、短链或长链状。同型乳酸发酵。在石蕊牛乳中可使牛乳凝固。牛乳随便放置时, 牛乳的凝固 90% 是由该菌所致。产酸能力弱, 最大乳酸生物量 0.9%~1.0%。可在 4% NaCl 肉汤培养基和 0.3% 亚甲基蓝牛乳中生长, 能水解精氨酸产生 NH₃, 对温度适应范围广泛, 10~40℃ 均产酸, 最适生长温度为 30℃。而对热抵抗力弱, 60℃ 30min 全部死亡。常作为干酪、酸制奶油及乳酒和酸泡菜发酵剂菌种。

③ 乳脂链球菌 (*St. cremoris*)。细胞比乳酸链球菌大, 长链状。同型乳酸发酵。产酸和耐酸能力均较弱。产酸温度较低, 约 18~20℃, 37℃ 以上不产酸、不生长。由于该菌耐酸能力差, 菌种保藏非常困难, 需每周转接菌种一次或在培养基中添加 CaCO₃ 1%~3% 保藏。不能在 4% NaCl 肉汤培养基和 0.3% 亚甲基蓝牛乳中生长, 不水解精氨酸。此菌常作为干酪、酸制奶油发酵剂菌种。

4. 明串珠菌属 (*Leuconostoc*)

明串珠菌属为革兰染色阳性菌。固体培养, 菌落一般小于 1.0mm, 光滑, 圆形, 灰白色; 液体培养, 通常混浊均匀, 但长链状菌株可形成沉淀, 细胞球形或豆状, 成对或成链排列, 不运动, 无芽孢。

利用葡萄糖进行异型乳酸发酵产生 D 型乳酸、乙酸或醋酸、CO₂。可使苹果酸转化为 L 型乳酸, 通常不酸化和凝固牛乳, 不水解精氨酸, 不水解蛋白, 不还原硝酸盐。生长温度范围 5~30℃, 最适生长温度为 25℃。

代表种——肠膜状明串珠菌 (*L. mesenterides*), 该菌不仅是酸泡菜发酵重要的乳酸菌, 而且已被用于生产右旋糖酐的发酵菌株, 右旋糖酐是代血浆的主要成分。

5. 芽孢杆菌属 (*Bacillus*)

革兰染色阳性菌。产生芽孢, 需氧或兼性厌氧。

其中枯草芽孢杆菌可分解蛋白酶和淀粉酶; 纳豆杆菌是豆豉的生产菌; 多黏芽孢杆菌是生产多黏菌素的菌种。有的菌株会引起米饭及面包腐败变质。

纳豆是日本的传统发酵大豆食品。传统的方法是以稻草包裹煮熟的大豆, 经自然发酵而成。纳豆不仅营养丰富, 而且具有抑菌、解酒、缓解疲劳、改善肝功能、预防口腔炎、肺结核和心脑血管疾病等功效, 长期食用可达到美白肌肤的效果。

纳豆生产用的纳豆菌属枯草芽孢杆菌纳豆菌亚种。革兰阳性、好氧、有鞭毛、极易成链。营养琼脂培养基上的菌落特征为粗糙型, 表面有皱褶, 边缘不整齐, 圆形或不规则形, 易蔓延; 能发酵葡萄糖、木糖、甘露醇产酸, 不产气, 有荚膜。0~100℃ 可存活, 最适生长温度为 40~42℃。纳豆菌在生长繁殖过程中, 可产生淀粉酶、蛋白酶、脱氨酶和纳豆激酶等多种酶类化合物。

纳豆菌可杀死霍乱菌、伤寒菌、大肠杆菌 O₋₁₅₇ H₇ 等，起到抗生素的作用。纳豆菌还可以灭活葡萄酒肠毒素；纳豆中含有 100 种以上的酶，特别是纳豆激酶，具有很强的溶血栓作用。另外纳豆菌在发酵过程中能产生大量的黏性物质，主要成分是 γ -谷氨酸的聚合物 (γ -PGA)，可开发成新型的外科手术材料。纳豆中含有丰富的维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 B₁₂、维生素 E、维生素 K 等多种营养物质。每克纳豆中含有 38.5~229.1 μ g 的染料木素，71.7~492.8 μ g 染料木苷，染料木素是抗癌的主要活性成分。

其基本的生产工艺为：

精选大豆→浸泡、沥干→蒸煮→冷却、接种纳豆菌→发酵→4℃放置 1 天→纳豆

(三) 发酵食品与霉菌

霉菌是丝状真菌的统称，凡在营养基质上长有菌丝体的真菌统称为霉菌。在发酵食品工业中常用的霉菌有毛霉属、根霉属、曲霉属和红曲霉属。

1. 毛霉属

具有毛状的外形，无假根和匍匐枝，菌丝无横隔，孢子囊梗直接由菌丝体生出。毛霉的用途很广，常出现在酒药中，能糖化淀粉并能生成少量乙醇，利用其淀粉酶制曲、酿酒。能产生蛋白酶，分解大豆蛋白产生鲜味，多用来做豆腐乳、豆豉。许多毛霉能产生草酸、乳酸、琥珀酸及甘油等，有的毛霉能产生脂肪酶、果胶酶、凝乳酶等。此外，毛霉还常生长在水果、果酱、蔬菜、糕点、乳制品、肉类等食品上，引起食品腐败变质。代表种如总状毛霉 (*M. racemosus*)、高大毛霉 (*M. mucedo*)、鲁氏毛霉 (*M. rouxianus*) 等。

(1) 高大毛霉 (*Mucor mucedo*) 在培养基上的菌落，初期为白色，随培养时间的延长，逐渐变为淡黄色，有光泽，菌丝高达 3~12cm 或更高。孢子囊柄直立不分枝。孢子囊壁有草酸钙结晶，此菌能产生 3-羟基丁酮、脂肪酶。

(2) 总状毛霉 (*Mucor racemosus*) 是毛霉中分布最广的一种。菌丝灰白色，菌丝直立而稍短，孢子囊柄总状分枝。我国四川的豆豉即用此菌制成。另外总状毛霉能产生 3-羟基丁酮，并对甾族化合物有转化作用。

(3) 鲁氏毛霉 (*Mucor rouxianus*) 此菌种最初是从我国小曲中分离出来的，菌落在马铃薯培养基上呈黄色，在米饭上略带红色，孢子囊柄呈假轴状分枝，厚垣孢子数量很多，大小不一，黄色至褐色，接合孢子未见。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. 根霉属

菌丝体产生匍匐枝，匍匐枝末端长有假根。这是与毛霉属进行区别的主要形态特征。根霉具有很强的糖化酶活力，能使淀粉分解为糖，是酿酒工业常用的糖化菌。但根霉能引起粮食及其制品霉变。代表菌种有：米根霉、黑根霉、华根霉和无根根霉。

(1) 米根霉 (*Rhizopus oryzae*) 这个种在我国酒药和酒曲中常看到，在土壤、空气，以及其他各种物质中亦常见。菌落疏松，初期白色，后变为灰褐色到黑褐色，匍匐枝爬行，无色。假根发达，指状或根状分枝，褐色，孢囊梗直立或稍弯曲，2~4 根，群生。尚未发现其形成接合孢子，发育温度 30~35℃，最适温度为 37℃，41℃亦能生长。此菌有淀粉酶、转化酶，能产生乳酸、反丁烯二酸及微量的酒精。产 L (+) 乳酸量最强，达 70% 左右，是腐乳发酵的主要菌种。

(2) 黑根霉 (*Rhizopus nigricans*) 常利用它的糖化作用，比如甜酒曲中的主要菌种就是黑根霉。菌落初期为白色，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。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，但极其微弱，能产生果胶酶，常引起水果的腐烂和甘薯的软腐。

(3) 华根霉 (*Rhizopus chinensis*) 此菌多出现在我国酒药和药曲中，这个种耐高温，于 45℃ 能生长，菌落疏松或稠密，初期白色，后变为褐色或黑色，假根不发达，短小，手指状。孢子囊柄通常直立，光滑，浅褐色至黄褐色。不生接合孢子，但生多数的厚垣孢子，发育温度为 15~45℃，最适温度为 30℃。此菌淀粉液化力强，有溶胶性，能产生酒精、芳香脂类、左旋乳酸及反丁烯二酸，能转化甾族化合物。

(4) 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，呈短指状或无根状。此菌对温度的适应范围同米根霉，无根根霉的某些菌株可以生产反丁烯二酸，常用来发酵豆类和谷类食品。

3. 曲霉属

曲霉具有分解有机物质的能力，在酿造等工业中得到广泛应用。它具有多种强活性的酶系。例如应用于酿酒的糖化菌具有液化、糖化淀粉的淀粉酶，同时还有蔗糖转化酶、麦芽糖酶、乳糖酶等；有些菌能产生较强的酸性蛋白酶，可用来分解蛋白质或用作食品消化剂。黑曲霉所产生的果胶酶，常用于果汁澄清，柚苷酶和陈皮苷酶用于柑橘类罐头去苦味或防止产生白色沉淀，葡萄糖氧化酶则用于食品的脱糖和除氧。

曲霉能产生延胡索酸、乳酸、琥珀酸等多种有机酸，其中草酰乙酸和乙酰辅酶 A 通过缩合成为柠檬酸。在食品工业中应用较多的曲霉属的菌有宇佐美曲霉、黄曲霉、米曲霉和黑曲霉等。这些曲霉在中国的传统食品豆酱、酱油、白酒、黄酒中起着重要的作用。

代表菌种有：米曲霉、黄曲霉、黑曲霉

(1) 米曲霉 (*Asp. oryzae*) 米曲霉菌落生长快，10 天直径达 5~6cm，质地疏松，初白色、黄色，后变为褐色至淡绿褐色，背面无色。米曲霉具很强的蛋白酶系，不产黄曲霉毒素，是酱油生产的主要菌种。

(2) 黄曲霉 (*Asp. flavus*) 在生长培养基上菌落生长快，柔毛状，平坦或有放射状沟纹；初为黄色，后变为黄绿，老熟后呈褐绿色。有的菌株产生灰褐色的菌核。该菌为中温性、中生性霉菌。生长温度为 6~47℃，最适温度为 30~38℃；生长的最低水活度为 0.8~0.86。分布很广泛，在各类食品和粮食上均能出现。有些种产生黄曲霉毒素，使食品和粮食污染带毒，黄曲霉毒素毒性很强，有致癌致畸作用。有些菌株具有很强的糖化淀粉、分解蛋白质的能力，因而被广泛用于白酒、酱油和酱的生产。

(3) 黑曲霉 (*Asp. niger*) 菌落初期为白色，扩散生长，培养时间延长，菌丝变为褐色，分生孢子形成后由中央变黑，逐步向四周扩散。有的有放射状沟纹；背面无色或黄褐色。黑曲霉是接近高温性的霉菌，生长适温为 35~37℃，最高可达 50℃；孢子萌发的水活度为 0.80~0.88，是自然界中常见的霉腐菌。

该菌具有多种活性强大的酶系，可用于工业生产。如淀粉酶用于淀粉的液化、糖化以生产酒精、白酒或制造葡萄糖和糖化剂；酸性蛋白酶用于蛋白质的分解或食品消化剂的制造及皮毛软化；果胶酶用于水解聚半乳糖醛酸、果汁澄清和植物纤维精炼。

4. 红曲霉属 (*Monascus*)

红曲霉菌在培养基上生长时，菌落初期为白色，老熟后变成淡粉色、紫色或灰黑色。多形成红色素。红曲霉是腐生真菌，生长的最适 pH 为 3.5~5，能耐 pH3.5，尤嗜乳酸。生长温度为 26~42℃，最适温度 32~35℃，能耐 10% 乙醇。