

现代食品微生物学

Modern Food Microbiology

吴祖芳 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

现代食品微生物学

吴祖芳 主 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代食品微生物学 / 吴祖芳主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-308-16199-2

I. ①现… II. ①吴… III. ①食品微生物—微生物学
IV. ①TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 214554 号

现代食品微生物学

吴祖芳 主 编

责任编辑 石国华

责任校对 金 蕾 秦 瑕 王安安 潘晶晶

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州星云光电图文制作有限公司

印 刷 杭州日报报业集团盛元印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 30.5

字 数 750 千

版 印 次 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-16199-2

定 价 68.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

内容提要

食品微生物学在现代食品加工、保鲜、资源开发与利用、人类卫生与健康等方面将起到越来越重要的作用。本教材首先通过对微生物学在相关产业中的重要地位以及对人类生存环境与健康影响的介绍,巩固微生物学基础知识及基本原理和方法;其次,讲授当今食品微生物学技术发展中的新概念、新方法及其在食品科学与技术中的应用。主要内容包括食品微生物基础知识与理论,食品微生物菌种资源及获取,微生物菌种的改造技术,微生物发酵培养基设计与灭菌技术,微生物发酵过程优化与控制,以及食品微生物的分析检测技术及研究进展等。着重介绍现代食品微生物学研究的系统方法与新成果及进展,食品中微生物的利用及控制的基本原理和方法以及国内外最新研究进展等。本课程能为食品科学与工程、食品工程和食品加工与安全等专业的硕士研究生从事及食品微生物学有关的基础理论研究、产品开发设计以及在食品、生物或农业环保等产业应用等工作,提供较好的知识基础与专业技能。

教材编写委员会

- | | | |
|-------|---------------------|----------------|
| 主 编 | 宁波大学 | 吴祖芳(教授、博导、博士) |
| 副 主 编 | 浙江工商大学 | 顾 青(教授、博导、博士) |
| | 大连工业大学 | 杜 明(教授、博导、博士) |
| | 湖南农业大学 | 蒋立文(教授、博导、博士) |
| | | 周 辉(副教授、硕导、博士) |
| | 集美大学 | 倪 辉(教授、硕导、博士) |
| | 宁波大学 | 翁佩芳(教授、硕导) |
| | | 张 鑫(讲师、博士) |
| 参编人员 | 苗英杰(宁波大学讲师、硕导) | |
| | 曹荣安(黑龙江八一农垦大学讲师、博士) | |
| | 白 冰(沈阳农业大学讲师、硕导、博士) | |

前 言

随着现代生物技术的快速发展,微生物学在生命科学(医学)、农业、工业及环境治理等行业发挥着越来越重要的作用;而食品微生物学与现代食品加工、保鲜、食品资源开发与利用及人类健康与卫生等方面密切相关,也是高等院校食品相关专业研究生等培养的重要专业基础课程。然而,国内设有食品专业硕士点包括兼有食品科学与工程重点学科的高校,其食品科学与工程专业的硕士生课程“现代食品微生物学”长期以来没有一本通用性强、内容系统全面的教学参考书供学生基础理论的学习与研究时借鉴,影响了专业教学效果与学生科研能力的培养。

本教材首先通过对微生物学在相关产业中的重要地位以及对人类生存环境与健康影响的介绍,简要论述了微生物学的基本原理与方法,巩固基础理论知识;其次,讲授当今食品微生物学技术发展中的新概念、新方法及其在食品科学与技术中的应用。教材主要内容包括食品相关的微生物菌种改造技术、微生物菌种分离筛选及设计方法,微生物学的基础与应用的研究进展,微生物发酵过程培养基设计与发酵过程优化和控制,食品微生物的分析检测技术,微生物在食品中的利用与食品中微生物的控制等。教材注重介绍现代食品微生物学研究的系统方法与新成果及进展,特别是食品中微生物利用及控制的基本原理和方法及国内外最新研究进展。本教材为食品科学与工程、食品工程和食品加工与安全等专业的硕士研究生从事与食品微生物学有关的基础理论研究、产品开发设计以及在食品、生物或农业环保等产业开展应用等工作,提供较好的知识基础与专业技能。

本教材的编写特色是内容全面,涉及的食品微生物学研究领域包括基础微生物学、食品微生物利用与控制以及食品微生物检测等,内容表达上强调重基础但更注重研究进展及目前面临的科学问题(包括传统发酵食品加工也是如此),对研究生创新能力等的培养具有重要作用。

作者根据多年的研究生教学实践,结合现代研究生知识与能力素质的观察,在整个教材编写过程中力求将理论基础与研究进展相结合,既稳固现代微

生物学的基础理论,又充分结合微生物学发展的最新研究成果,目的是使不同专业知识背景的研究生巩固微生物基础知识,强调对学生科研思路的培养及研究方案的设计能力等。本教材的编写充分利用本领域专任教师队伍在食品科学与工程专业硕士研究生课程“食品微生物学研究进展”中多年积累的课堂教学经验,以及在食品微生物学基础及食品科学与工程领域的多年科研实践,努力做到理论与实践的充分结合。

本教材内容第一篇由吴祖芳、周辉完成,第二篇由吴祖芳、倪辉、周辉和蒋立文完成,第三篇由顾青和吴祖芳完成,第四篇由杜明完成,第五篇由吴祖芳和蒋立文完成,第六篇由吴祖芳、翁佩芳、张鑫和杜明完成。协助参加本书编写工作的还有宁波大学苗英杰讲师(第七章第五节),沈阳农业大学食品学院白冰讲师(第八章),黑龙江八一农垦大学食品学院曹荣安(第十四章第五节),同时宁波大学食品生物技术实验室研究生杨阳、袁树昆、李若云、张庆峰、白政泽、曹红等对菌种的整理和内容校对等付出了辛勤劳动,一并感谢。

本教材的适用对象范围为食品科学与工程、食品工程、食品加工与安全等专业的硕士研究生,从事食品科学与工程领域的研究人员等。本教材无疑是食品相关专业的硕士研究生、从事食品微生物相关研究的研究院所或企业等研究人员进行课题研究思路确立、研究方法设计等十分重要的参考书。

编 者

2015 年 12 月于宁波大学

目 录

第一篇 食品微生物学概论与理论基础

第一章 绪 论	(1)
第一节 食品微生物学研究对象	(1)
一、微生物分类	(1)
二、食品微生物常见种类	(1)
第二节 微生物学技术与产业	(4)
一、微生物与农业	(5)
二、微生物与食品产业	(7)
三、微生物与资源利用	(10)
四、微生物与环境	(12)
五、微生物与能源	(15)
第三节 微生物和食品加工、食品质量与安全及控制的关系	(19)
一、微生物在传统发酵食品中的应用	(19)
二、微生物技术在食品质量安全与控制中的应用	(21)
第四节 现代食品微生物学研究内容	(22)
一、食品微生物学的研究内容	(22)
二、现代食品微生物学的任务	(23)
第二章 食品微生物学基础原理	(30)
第一节 微生物形态与功能	(30)
一、原核微生物	(30)
二、真核微生物	(37)
第二节 微生物的营养	(42)
一、微生物的营养物质	(42)
二、微生物的营养类型	(45)
三、微生物对营养物质的吸收方式	(46)
第三节 微生物的生长	(46)
一、细菌的生长繁殖	(47)
二、真菌的生长繁殖	(47)
三、微生物的同步培养	(49)
四、微生物的连续培养	(50)

五、环境因素对微生物生长的影响	(51)
第四节 微生物的代谢	(57)
一、微生物的能量代谢	(58)
二、微生物的分解代谢	(65)
三、微生物的合成代谢	(67)
四、微生物代谢的调节	(69)
五、微生物的次级代谢	(71)
第五节 微生物的遗传	(72)
一、遗传的物质基础	(73)
二、基因突变	(78)
三、基因重组和杂交过程	(81)
四、微生物与基因工程	(81)

第二篇 食品微生物菌种选育与发酵技术

第三章 食品微生物菌种资源与微生物筛选技术	(83)
第一节 食品微生物菌种资源及用途	(83)
一、概 述	(83)
二、常规食品微生物菌种特性及用途	(83)
三、食品微生物菌种资源库	(88)
第二节 微生物菌种的分离与筛选技术	(89)
一、概 述	(89)
二、传统菌种分离与筛选技术	(89)
三、食用菌的分离与鉴定方法	(93)
四、微生物分离检测的发展	(93)
五、微生物菌种的保藏	(98)
第三节 微生物菌种分离筛选研究实例	(99)
一、蛋白酶产生菌种的筛选及应用技术	(99)
二、产海洋活性物质的微生物筛选方法	(103)
三、产组胺微生物的分离与筛选	(105)
四、细菌素产生菌的选育与发酵技术	(106)
五、一种乳酸菌的分离与筛选	(111)
第四章 食品微生物菌种改造途径与方法	(116)
第一节 食品微生物菌种改造的必要性	(116)
一、食品发酵对菌种的要求	(116)
二、菌种选育的有益效果	(116)
三、菌种改造的一般流程	(117)

第二节 微生物菌种选育的基本遗传操作·····	(117)
一、自发突变·····	(118)
二、人工诱变·····	(118)
三、杂交育种·····	(122)
四、基因工程育种·····	(125)
第三节 菌种选育的策略·····	(127)
一、随机突变结合定向筛选育种·····	(127)
二、代谢工程育种·····	(127)
三、合成生物学育种·····	(130)
第四节 菌种改造研究实例·····	(135)
一、鸟苷生产菌改造实例·····	(135)
二、青蒿素的生物合成及高产菌种构建·····	(138)
 第五章 微生物发酵与过程优化技术·····	(152)
第一节 培养基设计与灭菌技术·····	(152)
一、培养基的种类与配制·····	(152)
二、培养基的灭菌·····	(155)
第二节 微生物发酵的影响因素分析·····	(157)
一、微生物培养基·····	(157)
二、温 度·····	(159)
三、pH·····	(162)
四、供氧对发酵过程的影响·····	(164)
第三节 微生物发酵过程优化技术·····	(166)
一、概 述·····	(166)
二、发酵过程优化的基本特征·····	(166)
三、发酵过程优化的主要内容及步骤·····	(167)

第三篇 食品微生物学研究新技术

第六章 食品微生物代谢组学与蛋白质组学研究·····	(170)
第一节 微生物代谢组学原理方法与应用·····	(170)
一、代谢组学技术概况·····	(170)
二、代谢组学技术原理与方法·····	(171)
三、代谢组学技术在食品中的应用实例·····	(175)
四、代谢组学技术在微生物分类与发酵工艺优化等方面的应用·····	(178)
第二节 蛋白质组学在食品微生物中的应用研究进展·····	(179)
一、蛋白质组学概述·····	(179)
二、蛋白质组学的主要技术·····	(179)

三、蛋白质组学在食品微生物中的应用研究进展	(183)
第七章 分子生物学技术在食品微生物中的应用	(188)
第一节 基因组学与食品微生态的研究	(188)
一、基因组及测序技术介绍	(188)
二、食品加工与营养健康的微生态研究	(194)
第二节 微生物的群体感应	(205)
一、微生物群体感应的概念	(205)
二、细菌群体感应的分子机制	(206)
三、群体感应系统的干扰	(208)
四、细菌群体感应的应用	(209)
五、细菌群体感应亟待解决的问题	(211)
第三节 微生物功能基因的挖掘及其应用	(211)
一、功能基因的概念	(211)
二、微生物功能基因的挖掘	(212)
三、以酶为例探究功能基因的挖掘策略	(212)
四、功能基因的挖掘在食品中的应用	(214)
第四节 分子生物学技术在乳酸菌等微生物检测鉴定中的应用	(214)
一、基于 rDNA 序列的分子标记技术	(215)
二、基于 DNA 指纹图谱技术	(217)
第五节 微生物信息网络化	(218)
一、生物数据库	(218)
二、数字图书馆	(235)
三、电子刊物	(236)

第四篇 食品微生物学分析技术

第八章 食品微生物的检测方法	(242)
第一节 食品微生物的分析	(242)
一、微生物的传统分析技术	(242)
二、微生物的快速检测技术	(244)
第二节 食品微生物代谢产物分析技术	(258)
一、色谱技术	(258)
二、质谱检测技术	(260)
三、电子鼻技术	(261)
四、酶联免疫技术	(262)
五、PCR 技术及应用	(263)
六、磁性纳米材料技术	(265)

第五篇 食品微生物的利用

第九章 益生菌及利用研究	(269)
第一节 益生菌的概念与功能	(269)
一、益生菌的分类	(269)
二、益生菌的功能	(270)
第二节 益生菌的应用开发研究	(271)
一、益生菌在食品中的应用	(271)
二、益生菌在饲料中的应用	(273)
三、益生菌在临床上的应用	(273)
第三节 益生菌菌株及益生菌制品的研究进展	(274)
一、益生菌菌株研究的趋势	(275)
二、益生菌产品的研究趋势	(275)
第十章 蔬菜发酵制品及乳酸菌的利用	(277)
第一节 发酵蔬菜制品分类及原料的选择	(277)
一、泡菜	(277)
二、酸菜	(278)
第二节 蔬菜发酵的微生物及发酵原理	(278)
一、蔬菜腌制过程中的主要微生物及其变化	(279)
二、蔬菜腌制的四个阶段	(282)
第三节 蔬菜发酵的微生物代谢产物及分析	(283)
一、蔬菜腌制过程中糖的变化	(283)
二、蔬菜腌制过程中氨基酸的变化	(286)
第四节 蔬菜发酵工艺	(287)
一、四川泡菜的生产工艺	(288)
二、韩国泡菜(辣白菜)	(289)
三、酸菜的生产工艺	(292)
第五节 蔬菜发酵与质量控制技术进展	(292)
一、接种乳酸菌发酵蔬菜技术	(293)
二、发酵蔬菜生产中的常见质量问题	(296)
三、蔬菜发酵质量控制技术	(297)
第十一章 海洋食品资源与微生物应用技术	(301)
第一节 海洋鱼类发酵——鱼酱油生产技术与质量控制	(301)
一、鱼酱油简介	(301)
二、鱼酱油研究现状	(302)
三、鱼酱油发酵工艺技术与品质的形成及标准	(302)

第二节 海洋微生物利用与生物活性物质的开发	(309)
一、概述	(309)
二、海洋活性物质与微生物	(310)
第十二章 其他发酵食品中微生物的利用	(336)
第一节 红曲的发酵法生产	(336)
第二节 生物防腐剂的微生物发酵法生产	(337)
一、乳酸链球菌肽	(337)
二、曲酸	(338)
三、纳他霉素	(338)
第三节 发酵乳制品的生产	(339)
一、发酵乳制品概述	(339)
二、乳酸菌种类	(340)
三、发酵乳制品及高效发酵剂生产一般流程	(341)
第四节 发酵肉制品的生产	(342)
一、发酵肉制品概述	(342)
二、发酵肉制品的种类及主要微生物	(342)
三、发酵肉制品的加工流程及加工技术进展	(344)
第五节 发酵米制品的生产	(346)
一、发酵米制品概述	(346)
二、主要发酵米制品及进展	(346)
第六节 微生态制剂	(347)
一、微生态制剂概述	(347)
二、微生态制剂的主要微生物	(348)
三、微生态制品发展趋势	(349)

第六篇 食品中微生物的控制技术

第十三章 食品中微生物的控制原理	(351)
第一节 食品生产中栅栏因子的运用	(351)
一、栅栏技术简介	(351)
二、栅栏技术在食品保藏中的应用	(353)
三、栅栏技术的展望	(356)
第二节 食品的传统保藏技术	(357)
一、食品传统保藏技术简介	(357)
二、食品传统保藏技术类型	(357)
第三节 食品保藏的生物技术	(364)
一、食品的天然防腐剂	(364)

二、食品微生物的拮抗作用	(366)
第十四章 食品工业消毒杀菌技术	(370)
第一节 食品的热处理技术	(370)
一、影响微生物耐热性的因素	(370)
二、食品热处理的类型	(371)
第二节 食品化学杀菌技术	(375)
一、食品化学杀菌技术原理	(375)
二、化学杀菌剂的类型	(375)
第三节 食品非热物理杀菌技术	(378)
一、食品非热物理杀菌技术简介	(378)
二、食品非热物理杀菌技术分类及进展	(379)
第十五章 食品生产加工中微生物控制的应用	(390)
第一节 生物胺的微生物来源途径及控制	(390)
一、生物胺的来源及种类	(390)
二、食品中组胺的研究进展	(391)
三、生物胺的检测	(394)
四、生物胺的控制	(395)
第二节 水产品贮藏、加工与保鲜中亚硝酸盐的控制	(396)
一、亚硝酸及盐类的来源途径	(396)
二、水产品中亚硝酸盐的控制	(397)
第三节 果蔬采后微生物病害和加工过程危害成分产生途径及控制	(398)
一、果蔬采后的微生物危害性	(398)
二、果蔬采后贮藏保鲜的微生物控制技术	(401)
三、蔬菜发酵中亚硝酸盐的产生途径及控制	(403)
第四节 酒类发酵生产产品质量安全及控制	(407)
一、果酒生产赭曲霉毒素的产生途径及控制	(407)
二、啤酒生产中甲醛的来源途径及控制	(412)
三、黄酒生产中氨基甲酸乙酯的产生途径及控制	(413)
第五节 畜禽产品的加工与保鲜技术的应用	(416)
一、乳品加工中的微生物控制技术	(416)
二、肉品加工中的微生物控制技术	(430)
三、蛋品加工中的微生物控制技术	(437)
附录 微生物菌株名称	(457)



第一篇 食品微生物学概论与理论基础

第一章 绪 论

第一节 食品微生物学研究对象

一、微生物分类

分类依据:微生物的形态特征、生理生化特征、生态习性、血清学反应、噬菌反应、细胞壁成分、红外吸收光谱、GC 含量、DNA 杂合率、核糖体核苷酸(rRNA)相关度、rRNA 的碱基顺序等。这是从不同层次(细胞与分子)、用不同学科(化学、物理学、遗传学、免疫学和分子生物学等)的技术方法来研究和比较不同微生物的细胞、细胞组分或代谢产物,从中发现反映微生物类群特征的资料。在现代微生物分类中,任何能稳定地反映微生物种类特征的资料,都有分类学意义,都可以作为分类鉴定的依据。

一般地,我们将微生物划分为以下 8 大类:细菌、病毒、真菌、放线菌、立克次体、支原体、衣原体和螺旋体。

二、食品微生物常见种类

以下主要介绍食品领域关系密切的主要微生物类型,即细菌、霉菌和酵母菌。

(一)细菌

广义的细菌是指细胞核无核膜包裹,只存在拟核区的裸露 DNA 的一大类原始单细胞生物,包括真细菌和古生菌两大类群。人们通常所说的即为狭义的细菌,是一类形状细短,结构简单,多以二分裂方式进行繁殖的原核生物,是在自然界分布最广、个体数量最多的有机体,是大自然物质循环的主要参与者。

细菌形态多样,主要有球状、杆状、螺旋状,还有丝状细菌、柄杆菌、星形细菌、方形细菌等。通过革兰氏染色,将细菌分为革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌。在日常生活中,食品经常受到细菌的污染,从而变质;但同时有些对人体有益的细菌又可以用于生产制造食品。

1. 革兰氏阳性球菌微球菌

微球菌属存在于哺乳动物体表,能引起食品腐败。葡萄球菌属中的金黄色葡萄球菌与

食源性疾病有关(索玉娟,2008),肉葡萄球菌可用于加工发酵香肠(史智佳,2012)。链球菌属中的酿脓链球菌存在于人体呼吸道,是食源性病原菌,嗜热链球菌存在于原料乳中用于乳制品发酵(田辉,2012)。肠球菌属是重要的食品腐败菌,常见的有粪肠球菌(吴晨璐,2011)。乳球菌属可用于生产生物加工食品,尤其是发酵乳制品,常见的有乳酸乳球菌乳酸亚种和乳脂亚种。明串珠菌属中的嗜冷菌株与真空包装冷藏食品的腐败有关(唐赟,2004)。片球菌属中某些菌用于食品发酵,某些能引起酒精饮料变质,有的能产生细菌素,对革兰氏阳性细菌具有广谱抗菌作用,可用作食品生物防腐剂(张健,2012)。八叠球菌存在于土壤、植物和动物粪便中,能引起植物食品的腐败。

2. 革兰氏阳性芽孢杆菌

枯草芽孢杆菌属可用于食品生物加工,存在于土壤、灰尘、植物中(陈忠杰,2013)。蜡状芽孢杆菌能引起食源性疾病和食品腐败(周帼萍,2007)。嗜热脂肪芽孢杆菌是罐头食品的平酸败坏菌,常引起罐头食品外观正常,内部产酸,没有胀罐现象(蔡健,1992)。芽孢乳杆菌属存在于鸡饲料和土壤中,常见种有菊糖芽孢乳杆菌、梭菌属中的肉毒梭状芽孢杆菌(江扬,2003)和产气荚膜梭菌(食品中重要的腐败菌)、酪丁酸梭菌(江凌,2010),这些是重要的腐败菌,有些种在食品加工中被用作水解糖和蛋白质的酶的来源。

3. 革兰氏阳性无芽孢杆菌

乳酸杆菌存在于植物原料、牛乳、肉类和动物排泄物中,德氏乳杆菌保加利亚亚种(李延华,2009)、瑞士乳杆菌(鲍志宁,2011)和植物乳杆菌(王辑,2012)用于食品生物加工。嗜酸乳杆菌(田芬,2012)、罗伊乳杆菌(庞洁,2011)和干酪乳杆菌干酪亚种(温啸,2014)属于益生菌。Collins 等(1987)按生理生化性状的分类标准,将某些非典型的乳杆菌——奇异乳杆菌和鱼乳杆菌(已知的食品腐败菌和鱼的致病菌)连同另外两个新种——鸡肉食杆菌和游动肉食杆菌建立了一个新属叫肉食杆菌属(*Carnobacterium*),这些杆菌存在于鱼类和肉类中,常见种有栖鱼肉杆菌(*C. piscicola*)。环丝菌属能在冷藏真空包装肉及肉制品中生长,常见种有热死环丝菌(倪萍,2013)。李斯特菌属广泛分布于环境中,能从不同类型的食品中分离出来,是主要的食源性病原菌。

4. 革兰氏阴性需氧菌

革兰氏阴性需氧菌无芽孢,端生鞭毛,能运动或不运动,有些菌能产生水溶性荧光色素。化能有机营养型,自然界中分布广泛,某些菌株有强烈分解脂肪和蛋白质的能力,污染食品后能在食品表面迅速生长引起变质,影响食品气味,如生黑腐假单胞菌(*P. nigri faciens*)能在动物性食品上产生黑色素;菠萝软腐假单胞菌(*P. ananas*)会使菠萝腐烂。弯曲杆菌属中的空肠弯曲杆菌(Chen,2011)和大肠弯曲杆菌都是食源性病原菌,存在于人体、动物和鸟类的肠胃中。假单胞菌属中的荧光假单胞菌(*P. fluorescens*)(马晨晨,2013)、铜绿假单胞菌(马晨晨,2013)和恶臭假单胞菌(毛芝娟,2010)是主要的腐败菌,能分解代谢食品中多种糖类、蛋白质和脂肪;如荧光假单胞菌能在低温下生长,使肉类腐败。黄单胞菌属属于植物病原菌,能导致果蔬腐烂,野油菜黄单胞菌菌株可用于生产黄原胶(张建国,2014)。葡糖杆菌属中的氧化葡萄糖酸杆菌能引起菠萝、苹果和梨腐败。交替单胞菌属是导致鱼和肉类腐败的重要菌株(王磊,2011)。黄杆菌属可导致牛乳、肉及其他蛋白类食品腐败变质,常见种有水生黄杆菌。产碱杆菌属(*Alcaligenes*)不能分解糖类产酸,能产生灰黄、棕黄和黄色的色素,引起乳品及其他动物性食品发黏变质,能在培养基上产碱,广泛分布于水、土壤、饲料和

人畜的肠道中。黄色杆菌属(*Flavobacterium*)有鞭毛,能运动,对碳水化合物作用弱,能产生多种脂溶性而难溶于水的色素,如黄、橙、红等颜色的色素,能在低温中生长,能引起乳、禽、鱼和蛋等食物的腐败变质,广泛分布于海水、淡水、土壤、鱼类、蔬菜和牛奶中。

5. 革兰氏阴性兼性厌氧菌

柠檬酸杆菌属存在于人类、动物和鸟类的肠道内容物和环境,包含在大肠菌群中作为卫生指标,重要种有弗氏柠檬酸菌(高正勇,2012)。埃希肠杆菌属中有些菌株对人和动物来说是致病性的,属于食源性致病菌,重要种有大肠杆菌,在食品检验中,一旦发现了大肠杆菌,就意味着这种食品直接或间接地被粪便污染,大肠杆菌也是食品中常见的腐败菌,可使乳及乳制品腐败。肠杆菌属与柠檬酸杆菌属相似,但其中有些是低温菌,能在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 繁殖,造成包装食品在冷藏过程中腐败变质。肠杆菌属存在于人类、动物和鸟类的肠道内容物以及环境中,重要种有产气肠杆菌。变形菌属(毕水莲,2008)、沙门菌属(李业鹏,2006)存在于人类、动物的肠道内容物中,也分布于水和土壤中,常见种分别为普通变形杆菌、肠沙门菌肠亚种。志贺菌属存在于人及灵长类动物肠道中,与食源性疾病有关,常见种有痢疾志贺菌。弧菌属中霍乱弧菌、副溶血弧菌和创伤弧菌能引起人类食源性疾病,溶藻弧菌会导致食品腐败。

6. 革兰氏阴性无芽孢杆菌

无色杆菌属(*Achromobacter*), G^{-} 菌,有鞭毛,能运动,多数能分解葡萄糖及其他糖类,产酸不产气,能使禽肉和海产品变质发黏,分布于水和土壤中;醋酸杆菌属(林清华,2011)是食醋发酵的菌种,但对酒类和饮料有害,也可引起水果和蔬菜的变酸腐烂。变形杆菌属(*Proteus*)周生鞭毛,能运动,菌体常不规则,呈现多形性,对蛋白质有很强的分解能力,是食品的腐败菌,并能引起人类食物中毒,广泛存在于人及动物的肠道、土壤、水域和食品中。

(二)霉菌

霉菌是指在固体营养基质上生长,形成绒毛状、蜘蛛网状或棉絮状的菌丝体,而不产生大型肉质子实体结构的真菌。霉菌除应用于传统的酿酒、制酱和食醋、酱油的酿造以及制作其他的发酵食品外,在发酵工业中还广泛用于生产酒精、有机酸、抗生素、酶制剂等;在农业上用于生产发酵饲料、植物生长刺激素、农药等。

霉菌对人类也有有害的一面。它是造成谷物、水果、食品、衣物、仪器设备发霉变质的主要微生物。此外,霉菌还是人和动植物多种疾病的病原菌,如小麦锈病、稻瘟病和皮肤病等。

1. 曲霉属

曲霉属中有的种产生霉菌毒素,如黄曲霉产生黄曲霉毒素(劳文艳,2011)。有的种用于食品 and 食品添加剂的生产,米曲霉在清酒生产过程中被用来产生 α -淀粉酶水解淀粉(王璐,2007),黑曲霉可以将蔗糖转化成柠檬酸,还能生产 β -乳糖酶类的酶类。

2. 支链孢属

它能导致番茄腐烂,以及使乳制品发出腐臭味。有些种会产生毒素,常见有柑橘链格孢霉(史文景,2014)。

3. 镰孢霉属

镰孢霉属能导致柑橘类水果、马铃薯和谷物的软腐。它能产生真菌毒素:富马毒素、玉米烯酮、单端孢霉烯和呕吐毒素等。常见种有轮枝镰孢菌、禾谷镰刀菌、再育镰刀菌等。

4. 白地霉属

白地霉属容易在食品机械和乳制品中生长。常见种有白地霉,在脂肪酶(赖红星,