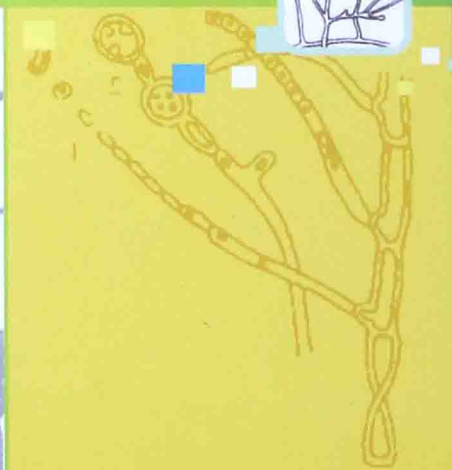
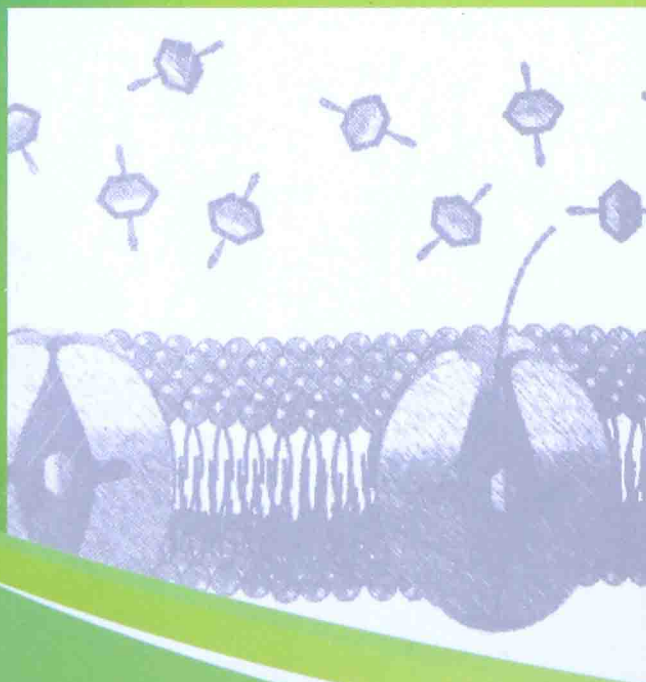




普通高等教育“十二五”规划教材  
食品科学与工程系列教材

# 食品微生物学

主 编 殷文政 樊明涛  
副主编 刘 慧 赵春燕 朱丽霞 段 艳



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材  
食品科学与工程系列教材

# 食品微生物学

主 编 殷文政 樊明涛  
副主编 刘 慧 赵春燕 朱丽霞 段 艳

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本教材在食品微生物学基本知识和进一步深化的基础上,结合近年来食品微生物学的发展动态,融入并强化了一些新的知识点,其中包括微生物与食源性疾病、微生物与食品安全、微生物生长模型与安全预警技术等内容。本教材着眼于国内外食品微生物学的研究与发展现状,不但对食品生产中的微生物予以较多关注,而且对涉及食品安全方面微生物问题的阐述较目前同类教材更为系统全面。

本教材可供高等院校食品科学与工程、食品质量与安全、酿酒工程、包装工程、生物工程、生物技术、营养与食品卫生及相关专业的广大师生参考,对于相关专业的科技人员及相关生产领域的专业人员也具有参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品微生物学/殷文政,樊明涛主编. —北京:科学出版社,2015.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-043104-2

I. ①食… II. ①殷… ②樊… III. ①食品微生物-微生物学-高等学校-教材 IV. ①TS201.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第022510号

责任编辑:杨 岭 刘 琳/责任校对:宋玲玲

责任印制:余少力/封面设计:墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年2月第一次印刷 印张:26

字数:600 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《食品微生物学》编委会名单

主 编：殷文政 （内蒙古农业大学）  
樊明涛 （西北农林科技大学）  
副主编：刘 慧 （北京农学院）  
赵春燕 （沈阳工学院）  
朱丽霞 （塔里木大学）  
段 艳 （内蒙古农业大学）

编 委：（以姓氏拼音为序）

白丽娟 （辽宁医学院）  
丹 彤 （内蒙古农业大学）  
郭东起 （塔里木大学）  
侯小歌 （周口师范学院）  
李丽杰 （内蒙古农业大学）  
谢远红 （北京农学院）  
于庆华 （内蒙古财经大学）  
赵 勤 （四川农业大学）  
朱传合 （山东农业大学）

## 序

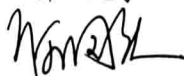
食品微生物学是研究与食品有关的微生物及其与食品关系的一门科学，由医学、农业、工业微生物学中与食品生产相关的部分相互融合而成。它包括的内容主要有：微生物学的基础知识；有益微生物在食品加工过程中的应用；有害微生物在食品加工、贮藏等过程的预防、控制和消除；主要的微生物检验技术及微生物与食品安全的关系等。

随着微生物学及生命科学的迅速发展，食品微生物学也从中获得了许多新的知识和新的技术，并应用这些新知识和新技术来生产更多富有营养和安全的食品，如生物技术已广泛地应用于食品贮藏、加工及食品安全检测等方面，并已获得了许多成果。食品中的微生物可以通过它的发酵作用，生产出各种饮料、酒、醋、酱油、味精、酸奶、馒头和面包等发酵食品；可以引起食品的腐败与变质；还可以引起食源性疾病，包括引起人的食物中毒和使人、动植物感染而发生传染病。

《食品微生物学》是一部关于食品微生物学基本理论及微生物在食品行业中应用的实用技能型教材，简单介绍了食品微生物学的发展历史和研究内容，详述了食品微生物的形态、培养、遗传变异及在食品加工、保藏等领域的应用。主要包括食品微生物的形态，微生物的培养，微生物菌种的选育和保藏，微生物与食品变质，微生物与食品保藏，微生物在食品发酵工业中的应用，微生物检验技术与食品安全控制等内容。

教材的核心部分，即基本理论、基本知识和基本技能，集中反映在理论与实践（应用）两个侧面，具有新的内涵，编者以 21 世纪的眼光审视和更新内容，使之与整个生命科学的发展息息相通，同时，注意与本学科发展前沿相衔接，使学生了解食品微生物学的昨天、今天和明天，掌握当今食品微生物学研究的热点和争论的问题，进而促进开拓与创新。在内容的取舍与编排方面，重点突出，层次分明，尽量体现以新成果并以成熟的内容替代陈旧的内容。选择有代表性的内容进行阐述，对微生物的应用与控制，微生物与食品生产、食品安全的关系进行了详细描述。明确了食品微生物学的理论和技术作为食品科学领域的重要基础和作用。食品微生物学本身又有其自身的特殊性，它是实践性很强的学科，可以推动生物学科更快发展。教材内容丰富，理论联系实际，注重与实践相结合，尤其是对微生物应用、微生物与食品安全及微生物与食源性疾病等内容进行了合理的融合和表述。有利于学生对内容的理解和掌握，培养学生分析问题与解决问题的能力。该教材可作为食品相关专业学生学习用书，也可供相关科技人员参考。

浙江大学



2014 年 9 月于杭州

# 前言

食品微生物学是研究与食品有关的微生物的特性、微生物与食品的相互关系及其生态条件的科学。内容主要包括：微生物学的基础知识，微生物在食品加工过程中的应用，有害微生物在食品加工、贮藏等过程中的预防和消除等。随着生物科学的迅速发展，食品微生物学也从中获得了许多新的知识和新的技术，并应用这些新知识和新技术来生产更多富有营养和安全的食品。例如，生物工程技术已广泛地应用于食品贮藏、加工及食品安全检测方面，并取得了许多成果。生物制造业和食品安全科学已进入一个全新的时期，因此食品微生物学的研究也将进入一个新时代，这对教材编写工作提出了更高的要求。本教材编委由不同院校的 10 多位专家组成，每位专家所编写的部分均为各自所熟悉的教学和科研内容，涉及面广，融合了本学科研究的新理论和新技术，使学生便于了解学科的前沿发展。

本教材编写集中体现了以下特点。

1. 在内容的编排方面，重点突出；参考文献新而广。同时要求每位编写人员都要结合自己的教学科研成果编写，尽量把学科前沿知识编入教材。
2. 在编写形式方面，力求便于学生掌握知识和提高自学能力，每章结尾附有少而精的思考题，以方便学生巩固所学知识，举一反三，活学活用。
3. 食品微生物学是一门应用性很强的专业基础课，在编写内容上考虑了本课程的特点，尽量做到理论与生产实践相结合、图文并茂，以培养学生学习兴趣。

本教材编写人员的分工为：第 1 章由朱丽霞编写，第 2 章由殷文政、于庆华编写，第 3 章由樊明涛编写，第 4 章由刘慧编写，第 5 章由赵春燕编写，第 6 章由郭东起编写，第 7 章由丹彤编写，第 8 章由段艳编写，第 9 章由李丽杰编写，第 10 章由朱传合编写，第 11 章由侯小歌、谢远红编写，第 12 章由赵春燕、段艳编写，第 13 章由赵勤、李丽杰编写，第 14 章由赵勤编写，第 15 章由朱丽霞、白丽娟编写。内蒙古农业大学食品科学与工程学院硕士韩磊、李佳、黎杰、万海霞、王美仁、王东玉、杨帆和殷鹏等参与了全书统稿和校对工作，参与统稿工作的还有内蒙古财经大学的于庆华老师，在此一并致谢。同时也对科学出版社的大力支持表示感谢。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，希望广大读者和同行专家提出宝贵意见。

编者

2013 年 12 月 30 日

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第1章 绪论                     | 1  |
| 概述                         | 1  |
| 1.1 微生物及其特点                | 1  |
| 1.1.1 种类多、分布广              | 2  |
| 1.1.2 繁殖速度快                | 2  |
| 1.1.3 代谢旺盛                 | 3  |
| 1.1.4 适应性强、易变异             | 3  |
| 1.1.5 食谱杂、易培养              | 4  |
| 1.2 微生物学与人类的关系             | 4  |
| 1.3 微生物学的发展简史              | 5  |
| 1.3.1 形态学时期                | 5  |
| 1.3.2 生理学时期                | 5  |
| 1.3.3 现代微生物学的发展            | 7  |
| 1.3.4 食品微生物学发展的大事记         | 8  |
| 1.3.5 我国微生物学的发展            | 11 |
| 1.4 食品微生物学及其研究的对象、内容与任务    | 13 |
| 1.4.1 食品微生物学定义             | 13 |
| 1.4.2 食品微生物学的研究对象          | 13 |
| 1.4.3 食品微生物学的研究内容          | 14 |
| 1.4.4 食品微生物学的研究任务          | 15 |
| 1.4.5 国内外食品微生物学的发展与展望      | 16 |
| 思考题                        | 17 |
| 参考文献                       | 17 |
| 第2章 原核细胞型微生物               | 19 |
| 概述                         | 19 |
| 2.1 细菌                     | 20 |
| 2.1.1 细菌个体形态和大小            | 20 |
| 2.1.2 细菌的细胞结构              | 23 |
| 2.1.3 细菌的繁殖与菌落形态特征         | 34 |
| 2.1.4 细菌的分类与鉴定             | 38 |
| 2.1.5 食品中常见的细菌             | 44 |
| 2.2 古生菌                    | 50 |
| 2.2.1 生命三域学说的提出及古菌在生物界中的地位 | 50 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.2.2 古生菌与细菌、真核生物的不同       | 51 |
| 2.2.3 古生菌的细胞               | 53 |
| 2.2.4 古生菌的繁殖及生活特征          | 54 |
| 2.2.5 古生菌的代表属种             | 54 |
| 2.3 其他原核细胞型微生物             | 56 |
| 2.3.1 放线菌                  | 56 |
| 2.3.2 蓝细菌                  | 59 |
| 2.3.3 螺旋体                  | 59 |
| 2.3.4 支原体                  | 59 |
| 2.3.5 衣原体                  | 60 |
| 2.3.6 立克次氏体                | 60 |
| 思考题                        | 60 |
| 参考文献                       | 60 |
| 第3章 真核细胞型微生物               | 62 |
| 概述                         | 62 |
| 3.1 酵母菌                    | 62 |
| 3.1.1 酵母菌的形态结构             | 62 |
| 3.1.2 酵母菌的繁殖               | 66 |
| 3.2 丝状真菌——霉菌               | 71 |
| 3.2.1 霉菌细胞的形态和结构           | 71 |
| 3.2.2 霉菌的繁殖                | 77 |
| 3.3 真核微生物的分类系统             | 83 |
| 3.3.1 安斯沃思(Ainsworth)的分类系统 | 83 |
| 3.3.2 《真菌字典》的分类系统          | 84 |
| 思考题                        | 85 |
| 参考文献                       | 85 |
| 第4章 非细胞型微生物                | 86 |
| 概述                         | 86 |
| 4.1 病毒                     | 86 |
| 4.1.1 病毒的基本特点              | 87 |
| 4.1.2 病毒的形态结构和化学成分         | 87 |
| 4.1.3 病毒增殖的一般过程            | 91 |
| 4.1.4 病毒的分类                | 92 |
| 4.1.5 亚病毒                  | 93 |
| 4.2 噬菌体                    | 95 |
| 4.2.1 噬菌体的概念与主要类型          | 95 |
| 4.2.2 噬菌体的结构               | 96 |
| 4.2.3 毒性噬菌体的增殖与溶菌作用        | 97 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 4.2.4 温和噬菌体与溶源性细菌   | 99  |
| 4.2.5 噬菌体与食品发酵工业的关系 | 100 |
| 思考题                 | 101 |
| 参考文献                | 102 |
| 第5章 微生物的营养          | 103 |
| 概述                  | 103 |
| 5.1 微生物细胞的化学组成      | 103 |
| 5.1.1 化学元素组成        | 103 |
| 5.1.2 化学物质组成        | 103 |
| 5.2 微生物的营养物质及生理功能   | 105 |
| 5.2.1 水             | 106 |
| 5.2.2 碳源            | 106 |
| 5.2.3 氮源            | 106 |
| 5.2.4 生长因子          | 107 |
| 5.2.5 无机盐           | 107 |
| 5.3 微生物对营养物质的吸收方式   | 108 |
| 5.3.1 被动扩散          | 108 |
| 5.3.2 促进扩散          | 108 |
| 5.3.3 主动运输          | 109 |
| 5.3.4 基团转位          | 110 |
| 5.4 微生物的营养类型        | 111 |
| 5.4.1 光能自养型微生物      | 112 |
| 5.4.2 光能异养型微生物      | 112 |
| 5.4.3 化能自养型微生物      | 112 |
| 5.4.4 化能异养型微生物      | 113 |
| 5.5 培养基             | 114 |
| 5.5.1 培养基配制的基本原则    | 115 |
| 5.5.2 培养基类型         | 117 |
| 思考题                 | 119 |
| 参考文献                | 120 |
| 第6章 微生物的代谢          | 121 |
| 概述                  | 121 |
| 6.1 微生物的能量代谢        | 121 |
| 6.1.1 化能异养型微生物的能量代谢 | 122 |
| 6.1.2 自养微生物的生物氧化与产能 | 131 |
| 6.2 微生物的物质代谢        | 134 |
| 6.2.1 分解代谢          | 134 |
| 6.2.2 合成代谢          | 135 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 6.2.3 分解代谢与合成代谢的关系            | 135 |
| 6.2.4 初级代谢与次级代谢               | 138 |
| 6.2.5 微生物次级代谢物的合成             | 140 |
| 6.3 微生物独特合成代谢途径举例             | 141 |
| 6.3.1 自养微生物的 $\text{CO}_2$ 固定 | 141 |
| 6.3.2 生物固氮                    | 142 |
| 6.3.3 微生物肽聚糖的生物合成             | 145 |
| 6.4 微生物代谢调控与发酵生产              | 147 |
| 6.4.1 微生物的代谢调控                | 148 |
| 6.4.2 代谢调控在发酵工业中的应用           | 152 |
| 思考题                           | 154 |
| 参考文献                          | 154 |
| <b>第7章 传染与免疫</b>              | 156 |
| 概述                            | 156 |
| 7.1 传染                        | 156 |
| 7.1.1 传染与传染病                  | 156 |
| 7.1.2 引起传染的主要因素               | 158 |
| 7.1.3 传染后的几种状态                | 160 |
| 7.2 免疫                        | 161 |
| 7.2.1 非特异性免疫                  | 162 |
| 7.2.2 特异性免疫                   | 164 |
| 7.3 抗原与抗体                     | 168 |
| 7.3.1 抗原                      | 168 |
| 7.3.2 抗体                      | 172 |
| 7.4 免疫学方法及其应用                 | 178 |
| 7.4.1 抗原、抗体反应的一般规律            | 178 |
| 7.4.2 抗原、抗体间的主要反应             | 179 |
| 7.4.3 免疫标记技术                  | 181 |
| 7.5 生物制品及其应用                  | 184 |
| 7.5.1 人工自动免疫类生物制品             | 185 |
| 7.5.2 人工被动免疫类生物制品             | 186 |
| 思考题                           | 187 |
| 参考文献                          | 187 |
| <b>第8章 微生物的生长与控制</b>          | 189 |
| 概述                            | 189 |
| 8.1 微生物的生长                    | 189 |
| 8.1.1 微生物的纯培养                 | 189 |
| 8.1.2 微生物生长量的测定               | 192 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 8.1.3 微生物的生长曲线 .....             | 194        |
| 8.1.4 微生物的连续培养 .....             | 198        |
| 8.1.5 微生物的高密度培养 .....            | 199        |
| 8.2 影响微生物生长的主要因素 .....           | 200        |
| 8.2.1 温度 .....                   | 201        |
| 8.2.2 氧气 .....                   | 203        |
| 8.2.3 pH .....                   | 205        |
| 8.3 理化因素对微生物生长的影响 .....          | 207        |
| 8.3.1 微生物控制的基本概念 .....           | 208        |
| 8.3.2 控制微生物生长的物理方法 .....         | 208        |
| 8.3.3 控制微生物生长的化学方法 .....         | 214        |
| 思考题 .....                        | 217        |
| 参考文献 .....                       | 218        |
| <b>第9章 微生物的生态</b> .....          | <b>219</b> |
| 概述 .....                         | 219        |
| 9.1 食品微生物在自然界中的分布 .....          | 219        |
| 9.1.1 土壤中与食品有关的微生物 .....         | 219        |
| 9.1.2 水中与食品有关的微生物 .....          | 220        |
| 9.1.3 空气中与食品有关的微生物 .....         | 222        |
| 9.1.4 生物体内外与食品有关的微生物 .....       | 224        |
| 9.1.5 极端环境中与食品有关的微生物 .....       | 226        |
| 9.1.6 食品环境中的微生物 .....            | 230        |
| 9.2 微生物与生物环境之间的相互关系 .....        | 231        |
| 9.2.1 互生 .....                   | 231        |
| 9.2.2 共生 .....                   | 232        |
| 9.2.3 寄生 .....                   | 232        |
| 9.2.4 拮抗 .....                   | 233        |
| 9.2.5 捕食 .....                   | 234        |
| 思考题 .....                        | 234        |
| 参考文献 .....                       | 234        |
| <b>第10章 微生物遗传变异和育种</b> .....     | <b>235</b> |
| 概述 .....                         | 235        |
| 10.1 遗传变异的物质基础 .....             | 236        |
| 10.1.1 遗传和变异的物质基础 .....          | 236        |
| 10.1.2 遗传物质在微生物细胞内存在的部位和方式 ..... | 239        |
| 10.2 基因突变和诱变育种 .....             | 243        |
| 10.2.1 基因突变的类型及特点 .....          | 243        |
| 10.2.2 自发突变与随机选育 .....           | 245        |

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 10.2.3 | 理化诱变与定向选育 .....       | 246 |
| 10.2.4 | 适应性进化与系统生物学方法选育 ..... | 248 |
| 10.2.5 | 高通量筛选技术 .....         | 248 |
| 10.3   | 基因重组 .....            | 249 |
| 10.3.1 | 原核微生物的基因重组 .....      | 249 |
| 10.3.2 | 原生质体融合 .....          | 255 |
| 10.3.3 | 真核微生物的基因重组 .....      | 256 |
| 10.4   | 基因工程简介 .....          | 257 |
| 10.4.1 | 基因工程定义 .....          | 257 |
| 10.4.2 | 基因工程的基本操作 .....       | 258 |
| 10.4.3 | 基因工程与转基因食品 .....      | 262 |
| 10.5   | 菌种的衰退、复壮和保藏 .....     | 263 |
| 10.5.1 | 菌种衰退的原因 .....         | 263 |
| 10.5.2 | 菌种的复壮 .....           | 265 |
| 10.5.3 | 菌种的保藏 .....           | 266 |
|        | 思考题 .....             | 266 |
|        | 参考文献 .....            | 267 |
| 第 11 章 | 微生物与食品生产 .....        | 268 |
|        | 概述 .....              | 268 |
| 11.1   | 微生物发酵 .....           | 268 |
| 11.1.1 | 利用微生物代谢产物生产食品 .....   | 269 |
| 11.1.2 | 利用微生物酶促转化生产食品 .....   | 270 |
| 11.2   | 细菌的应用 .....           | 271 |
| 11.2.1 | 发酵乳制品 .....           | 271 |
| 11.2.2 | 食醋的酿造 .....           | 272 |
| 11.2.3 | 氨基酸发酵 .....           | 274 |
| 11.3   | 酵母菌的应用 .....          | 276 |
| 11.3.1 | 乙醇和白酒的生产 .....        | 277 |
| 11.3.2 | 啤酒的生产 .....           | 278 |
| 11.3.3 | 葡萄酒的酿造 .....          | 280 |
| 11.3.4 | 面包的生产 .....           | 282 |
| 11.4   | 霉菌的应用 .....           | 283 |
| 11.4.1 | 淀粉质原料的糖化 .....        | 283 |
| 11.4.2 | 酱油、酱类的酿造 .....        | 284 |
| 11.4.3 | 豆腐乳生产 .....           | 285 |
| 11.4.4 | 有机酸生产 .....           | 286 |
| 11.5   | 微生物酶和菌体的应用 .....      | 287 |
| 11.5.1 | 酶制剂 .....             | 287 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 11.5.2 单细胞蛋白              | 288        |
| 11.5.3 食用菌                | 289        |
| 11.6 微生物发酵中杂菌污染及其防治       | 290        |
| 11.6.1 发酵异常现象及原因分析        | 290        |
| 11.6.2 杂菌污染的途径和防治         | 292        |
| 思考题                       | 293        |
| 参考文献                      | 294        |
| <b>第 12 章 微生物与食品的腐败变质</b> | <b>295</b> |
| 概述                        | 295        |
| 12.1 食品的腐败变质              | 295        |
| 12.1.1 食品腐败变质的原因          | 295        |
| 12.1.2 食品腐败变质的鉴定          | 297        |
| 12.1.3 微生物引起的各类食品腐败变质     | 299        |
| 12.2 食品微生物污染的控制           | 312        |
| 12.2.1 微生物污染食品的途径         | 312        |
| 12.2.2 食品微生物污染的控制         | 313        |
| 12.3 微生物生长的控制             | 314        |
| 12.3.1 微生物生长的控制与食品保藏方法    | 314        |
| 12.3.2 食品防腐保藏新技术          | 317        |
| 思考题                       | 319        |
| 参考文献                      | 320        |
| <b>第 13 章 微生物与食源性疾病</b>   | <b>321</b> |
| 概述                        | 321        |
| 13.1 概述                   | 321        |
| 13.1.1 食源性疾病定义            | 321        |
| 13.1.2 食物中毒与有毒食物          | 321        |
| 13.1.3 食物中毒的特点与分类         | 322        |
| 13.2 细菌性食物中毒              | 323        |
| 13.2.1 细菌性食物中毒的定义         | 323        |
| 13.2.2 细菌性食物中毒的特点及表现      | 323        |
| 13.2.3 细菌性食物中毒发生的原因及条件    | 323        |
| 13.2.4 细菌性食物中毒的发病机制       | 324        |
| 13.2.5 常见的细菌性食物中毒         | 325        |
| 13.3 真菌性食物中毒              | 334        |
| 13.3.1 真菌性食物中毒的定义         | 334        |
| 13.3.2 真菌性食物中毒发生的原因及条件    | 334        |
| 13.3.3 真菌性食物中毒发病机制        | 334        |
| 13.3.4 常见的真菌性食物中毒         | 335        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 13.4 食品介导的病毒感染·····                 | 337        |
| 13.4.1 食品介导的病毒·····                 | 337        |
| 13.4.2 食源性病毒·····                   | 337        |
| 13.5 食品介导的人畜共患病的病原菌·····            | 341        |
| 13.5.1 结核分枝杆菌·····                  | 341        |
| 13.5.2 布鲁氏杆菌·····                   | 342        |
| 13.5.3 炭疽杆菌·····                    | 342        |
| 13.6 食品介导的消化道传染病的病原菌·····           | 344        |
| 13.6.1 伤寒沙门氏菌和副伤寒沙门氏菌·····          | 344        |
| 13.6.2 痢疾志贺氏菌·····                  | 345        |
| 13.6.3 霍乱弧菌与副溶血性弧菌·····             | 346        |
| 思考题·····                            | 346        |
| 参考文献·····                           | 347        |
| <b>第14章 微生物与食品安全·····</b>           | <b>348</b> |
| 概述·····                             | 348        |
| 14.1 食品卫生与标准·····                   | 348        |
| 14.1.1 食品卫生·····                    | 348        |
| 14.1.2 食品卫生的微生物学标准·····             | 349        |
| 14.2 食品中微生物的检验·····                 | 360        |
| 14.2.1 食品中细菌数量的检测·····              | 361        |
| 14.2.2 食品中大肠菌群数量的检测·····            | 363        |
| 14.2.3 食品中致病菌的检测·····               | 365        |
| 14.2.4 食品中其他菌类数量的检测·····            | 366        |
| 思考题·····                            | 375        |
| 参考文献·····                           | 376        |
| <b>第15章 微生物生长预测模型与安全预警技术·····</b>   | <b>377</b> |
| 概述·····                             | 377        |
| 15.1 微生物生长预测模型·····                 | 377        |
| 15.1.1 微生物生长预测模型的分类·····            | 377        |
| 15.1.2 微生物生长预测模型介绍（一级模型）·····       | 379        |
| 15.1.3 环境因素对微生物生长影响的数学表达（二级模型）····· | 383        |
| 15.2 预测食品微生物生长·····                 | 387        |
| 15.2.1 预测食品微生物学模型·····              | 387        |
| 15.2.2 预测食品微生物学与食品安全·····           | 391        |
| 15.3 食品安全预警系统·····                  | 393        |
| 15.3.1 食品有害物检测数据的收集与积累·····         | 394        |
| 15.3.2 食品安全的风险分析·····               | 395        |
| 15.3.3 食品安全的风险评估·····               | 396        |

---

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 15.3.4 食品安全预警系统的建立..... | 397 |
| 思考题 .....               | 398 |
| 参考文献 .....              | 399 |

# 第1章 绪 论

## 概述

当你清晨起床后，呼吸着清新的空气，一边喝着可口的酸奶，一边品尝着美味的面包或馒头，这时你正在享受着微生物给你带来的恩惠；当你因为吃了不洁的食物而躺在病床上经受病痛的折磨时，你正在承受着食源性有害微生物对你身体的侵害。微生物是一把十分锋利的双刃剑，在食品行业，小到涉及每家每户的日常饮食，大到营业额上万亿元的食品工业，都离不开微生物的作用。同时，有害微生物对食品的侵染是食品安全的巨大挑战，甚至有时威胁到人类的生存。

食品微生物学主要研究与食品生产、食品安全有关的微生物的特性，研究如何更好地利用有益微生物为人类生产各种各样的食品及改善食品质量，防止有害微生物引起食品腐败变质、食物中毒，并不断开发新的食品微生物资源。

食品微生物学是一个令人着迷与兴奋的领域，研究它们既充满挑战又充满乐趣。在学习中，食品微生物远非微小生物的认识，它需要更加严谨的思考、更加新颖的研究方法、更加大胆的怀疑态度。学生需要不断地强化学习技能和创新思维方式，以便能够解决明天出现的新问题。

## 1.1 微生物及其特点

微生物是指一类肉眼看不见的，必须借助于显微镜，放大数十倍、数百倍甚至数千倍才能观察到的，有一定的结构和形态并能在适宜环境中生长繁殖的细小生物。微生物是一大群种类各异、独立生活的生物体。这些微小的生物包括无细胞结构不能独立生活的病毒、亚病毒（类病毒、拟病毒、朊病毒），原核细胞结构的真细菌、古细菌和有真核细胞结构的真菌（酵母、霉菌等），有的也把藻类、原生动物包括在其中。在以上这些微生物群中，大多数是肉眼看不见的，如病毒等生物体，即使在普通光学显微镜下也不能看到，必须在电镜下才能观察到；有的微生物尤其是真菌、大型食用真菌，毫无疑问是可见的。近年来，德国科学家在纳米比亚海岸的海底沉积物中发现的硫细菌（sulfur bacterium）被命名为 *Thiomargarita namibiensis*，即纳米比亚珍珠硫细菌，是一种可见的细菌（大小为 0.1~0.3mm，有些可达 0.75mm）。以上足以说明“微生物”是一个微观世界里生物体的总称，它们的数量众多，达天文数字，种类繁多，只真菌就可达 7 万种。

微生物和动植物一样具有生物最基本的特征即新陈代谢，有生命周期，还有其自身的特点。

### 1.1.1 种类多、分布广

据统计,已发现的微生物种类达10万种以上,广泛分布于自然界中。按其结构、组成等分为三大类。

1) 非细胞型微生物:体积极微小,能通过滤菌器,只能在活细胞内生长繁殖,病毒就属于这一类。

2) 原核细胞型微生物:仅有原始的核,无核膜和核仁,缺乏完整的细胞器,如细菌、衣原体、支原体、立克次氏体、螺旋体和放线菌。

3) 真核细胞型微生物:细胞核的分化程度较高,有核膜、核仁和染色体,细胞内有完整的细胞器,真菌和微细藻类即为真核细胞型微生物。

微生物在自然界的分布是极其广泛的,上至几万米的高空,下至数千米的深海;高达90℃的温泉,冷至-80℃的南极;盐湖、沙漠、人体内外、动植物组织、化脓的伤口等都有微生物的足迹,真可谓无孔不入。凡是有高等生物存在的地方,就有微生物的存在,甚至没有高等生物的地方,也有微生物的存在。微生物之所以分布广,与其本身小而轻是密切相关的。衡量微生物个体的大小,通常以微米( $\mu\text{m}$ )为单位,例如,大肠杆菌的大小为 $(0.4\sim 0.7)\mu\text{m}\times(1.0\sim 4.0)\mu\text{m}$ 。从质量上来讲,细菌的质量一般只有 $1\times 10^{-10}\sim 1\times 10^{-9}\text{mg}$ ,也就是说,大约10亿个细菌才有1mg重。病毒就更小了。

微生物虽然分布广泛,但其分布密度是不一样的,它随着外界环境条件的不同而不同。一般来说,外界环境条件适宜,即有机物质丰富的地方,微生物的种类和数量就多。一个感冒患者,打一个喷嚏就含有1500万左右个病毒。土壤更是微生物的大本营,在1g肥沃的土壤里,含有几十亿个微生物。相反,如果在营养缺乏、条件恶劣的地方,微生物的种类和数量就大大减少了。

### 1.1.2 繁殖速度快

繁殖快是微生物最重要的特点之一。因为单个细胞的生命周期是有限的,不会保持很长时间,所以微生物很快就会发展成为一个种群。

以细菌为例,通常20~30min即可分裂1次,繁殖1代,其数目比原来增加1倍。如果20min分裂1次,而且每个克隆子细胞都具有同样的繁殖能力,那么1h后就是 $2^3$ 个,2h后就是 $2^6$ 个,24h后就是 $2^{72}$ 个,即由一个原始亲本变成了 $2^{72}$ 个细菌。

普通的大肠杆菌在牛乳组成的基质中,如果给其提供最适的培养条件,那么菌体繁殖一代仅需12.5min。以此速度计算,在理想条件下,一个大肠杆菌细胞一昼夜就能繁殖115代,数量可增殖到 $4.15\times 10^{34}$ 个,干菌体质量可达约 $10^{16}\text{t}$ (通常每克干的细菌菌体约 $4.5\times 10^{12}$ 个)。按每 $10^9$ 个细菌重1mg计, $2^{72}$ 个细菌的质量超过4722t。

当然这种惊人的增殖速度在现实中是无法实现的。只在细菌的生长对数期才有如此的增殖速度。这种高增殖速度可为人类所利用。例如,以石油为原料,通过微生物发酵生产蛋白质,8~12h收获1次。获得同等数量的蛋白质,利用微生物合成的速度比利用