

Science and Technology of  
Lactic Acid Bacteria

**乳酸菌** 科学与技术



陈 卫 主编



科学出版社

# 乳酸菌科学与技术

陈 卫 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要围绕乳酸菌科学与技术的重要主题展开。全书分九篇：第一篇，绪论，主要介绍乳酸菌科学与技术的概况、历史沿革与发展现状；第二篇，乳酸菌的基础生物学，主要介绍乳酸菌的系统分类、生态分布、生理代谢、遗传重组和噬菌体学等；第三篇，乳酸菌的组学，包括乳酸菌的比较基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学；第四篇，乳酸菌的环境生理学，主要涉及乳酸菌对酸、渗透压、温度、氧化应激等环境因子的适应与响应；第五篇，乳酸菌的生物工程，主要包括利用乳酸菌来生产和制备有机酸、维生素、细菌素、脂肪酸等产物；第六篇，乳酸菌的功能挖掘与评价，主要涉及乳酸菌的健康促进、免疫调节与安全保障等；第七篇，乳酸菌的工业应用，主要包括发酵食品、发酵剂制备、医药制剂及饲料制剂等；第八篇，乳酸菌的有关法规管理；第九篇，乳酸菌的实验方法学。

本书对从事微生物学、生物工程、发酵工程、食品科学、营养健康等领域研究的科研人员、高校教师、研究生及其他乳酸菌研究与应用相关人员具有重要的参考价值。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

乳酸菌科学与技术/陈卫主编. —北京: 科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057228-8

I. ①乳… II. ①陈… III. ①乳酸细菌—研究 IV. ①Q939.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 083305 号

责任编辑: 李秀伟 陈 新 田明霞 郝晨扬

责任校对: 严 娜 王晓茜 彭珍珍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 5 月 第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2018 年 5 月 第一次印刷 印张: 59 插页: 2

字数: 1 870 000

定价: 468.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《乳酸菌科学与技术》编委会

主 编 陈 卫

副主编 田丰伟 翟齐啸 赵建新 张 灏

编 委 (按姓氏拼音排序)

艾春青	陈 臣	陈 佩	陈 卫	陈海琴	崔树茂	党 辉
樊哲新	方志锋	高 鹤	郭 壮	杭 锋	郝光飞	何 钊
胡陆军	姜金池	金 星	李宝坤	李东尧	李海涛	李天琪
李向菲	刘小鸣	陆 静	陆文伟	毛丙永	乔一腾	任晟诚
史 璞	唐 鑫	田丰伟	田培郡	仝艳军	王 刚	王伯韬
王光强	王鸿超	王琳琳	王茜茜	王顺合	邢家溧	闫 爽
闫博文	杨 波	于雷雷	翟齐啸	张 灏	张白曦	张秋香
赵 楠	赵国忠	赵吉春	赵建新	赵山山	周梦舟	



# 序 一

乳酸菌是能利用碳水化合物发酵并形成乳酸的一类细菌，广泛存在于各种自然界生态环境中。人类对乳酸菌的利用具有悠久的历史。长久以来，人类在生产实践活动中注意到存在于乳、肉、谷物、果蔬等不同原料上的自然乳酸发酵现象，经过长期摸索与实践而形成了以乳酸发酵为主要特征的传统发酵食品制作工艺，为人类社会的发展做出了贡献。到了近代，在现代科学和工程技术大发展的带动下，围绕乳酸菌科学与应用逐渐形成了完整的理论体系和应用体系。一方面，乳酸菌是基础生物科学与技术的一类重要研究对象，在揭示基本生命活动规律方面发挥着重要的作用；另一方面，乳酸菌是现代生物技术制造的主体之一，在工业发酵食品制造和有价值工业生物化学品制造等方面发挥着重要的作用；此外，作为共生生物，乳酸菌在植物、动物和人类等生物宿主的健康维持和疾病发生发展过程中也发挥着重要的调节与干预作用，乳酸菌在畜牧养殖、健康与医药产品开发等方面也实现了广泛的应用。乳酸菌已成为现代科学技术研究与开发中的一个重要主题，具有十分重要的科学研究和产业应用价值。

丹麦科学家 Orla-Jensen 在 1919 年建立了乳酸菌科学与技术的框架体系，经过近一个世纪的发展，乳酸菌科学与应用取得了巨大的进步。特别是近年来，系统组学技术在乳酸菌领域的应用大大推动了乳酸菌科学与技术研究和发展，也使得乳酸菌成为近年来的一个研究热点，围绕乳酸菌形成了很多新观点和新认识。乳酸菌科学与技术包括乳酸菌的基础生命活动规律、乳酸菌生物技术制造、乳酸菌与环境相互作用、乳酸菌功能评价挖掘与应用等内容，在内容上涵盖了生物技术上游、中游和下游的整个过程，在相关学科上涉及微生物学、生物化学、工程科学、发酵工程、动物科学、营养与健康科学等多个学科门类。因此，以乳酸菌已有的框架体系为基础，围绕乳酸菌形成的新观点和新认识，形成一部全面介绍乳酸菌基础生物学、实验方法学、环境生理学、生物工程学、功能挖掘与评价、工业应用等内容的系统性专著，对于乳酸菌基础科学研究和乳酸菌产业发展都具有重要的推动作用。

《乳酸菌科学与技术》主编陈卫博士是国家自然科学基金杰出青年基金获得者，并入选教育部“长江学者奖励计划”。陈卫博士及其所在团队先后承担了以乳酸菌研究与应用为主题的国家自然科学基金杰出青年基金项目与重点项目、国家 863 计划、国家科技支撑计划、农业科技成果转化项目等多项国家级与省部级重要项目，在功能性乳酸菌开发与应用方面形成了突出的研究成果。以陈卫博士为首的研究团队多年来一直从事乳酸菌的高效筛选、功能挖掘与评价、环境互作、菌剂制备与应用等方面的研究工作，先后取得了多项国家级与省部级科研成果奖励，与国外研究机构成立了联合研究中心和国际联合实验室，在乳酸菌研究与开发方面在国内外都具有重要的影响。

作者在搜集近年来国内外乳酸菌科学与技术最新研究进展的基础上，系统归纳了乳酸菌基础生物学、实验方法学、环境生理生态学、系统组学、生物工程学、功能评价挖掘、安全性评价、工业应用及法规管理等方面的知识体系和新进展。该书系统全面，涵盖了乳酸菌科学与技术的各个方面；内容新颖，较为全面地反映了近年来乳酸菌科学与技术研究的新进展，是一部关于乳酸菌科学与技术的系统性专著。该书的出版对于我国乳酸菌科学与技术研究水平的提高和乳酸菌相关产业的发展无疑将产生重要的推动作用。



中国工程院院士

2017 年 7 月 12 日

## 序 二

乳酸菌是一类古老而新颖的重要经济微生物。在人类历史和社会发展的长河中，随着人类对食品经济作物的种植和对动物的驯养，乳酸菌也在人类社会实践中得到了广泛的应用。不论是佛教经典，还是基督教圣经，或者伊斯兰教典，都有涉及乳酸菌发酵乳制品的相关内容。从古埃及、古印度、古希腊和古巴比伦到古代中国，在这些不同地区的古老文明中，都有利用乳酸菌以谷物、乳、果蔬等作为原料来制作各具特色的发酵食品的各种记载，乳酸菌发酵食品已成为人类饮食文化的重要组成部分。时至今日，特色乳酸菌发酵食品依然是人类的重要食物。除了直接作为食品，人们还发现乳酸菌发酵制品具有突出的医疗作用，在古罗马著作《自然史》和我国医学著作《本草纲目》中都有关于利用乳酸菌发酵乳进行胃肠疾病治疗的记载。19世纪末和20世纪初，在人类自然科学和工程科学大发展的推动下，人类对乳酸菌的认识和利用又达到了一个新的高度，乳酸菌已广泛用于食品制造、医疗健康、生物工程、动物养殖、环境保护等不同领域中。特别是进入21世纪以来，随着现代分子技术和系统组学技术在乳酸菌中的应用，人类对乳酸菌的研究达到了一个崭新的高度。

与国外相比，我国在乳酸菌研发方面起步比较晚，与世界先进水平差距较大。近年来我国科技管理部门立项支持了一系列有关乳酸菌的研究项目，国内从事乳酸菌研究与开发的广大研究人员和有关企业群策群力、深入研究，取得了一些突出的研究成果，在不同方面推动了我国乳酸菌研究与应用的发展。

由陈卫博士等编写的《乳酸菌科学与技术》从基础理论到实践应用的不同层次系统汇集了近年来乳酸菌领域的最新研究成果，内容涉及乳酸菌的基础生物学、环境生理学、生物工程、乳酸菌功能发掘、产业实践应用及法规管理、实验方法学等方面的内容。在编写过程中，编者团队努力把握乳酸菌的最新研究动态和发展前沿，力求在乳酸菌已有理论体系的基础上将乳酸菌科学与技术的新理论、新技术、新功能和新应用等方面的进展展示给读者。例如，按照2015年出版的最新版《伯杰氏古菌与细菌系统学手册》，结合国际权威期刊上对乳酸菌分类的新研究进展，进行乳酸菌成员的归纳与整理；考虑到近年来组学技术在揭示乳酸菌生命活动规律方面的应用，分别就比较基因组学、转录组学、蛋白质组学、代谢组学在乳酸菌科学与技术方面的应用进行了分章整理并汇集成篇。

总之，这本《乳酸菌科学与技术》篇章层次清楚、逻辑性强，是一部兼具系统性、科学性、先进性、新颖性和实用性的专著。在此，我非常乐意向读者推荐这本书，相信该书的出版发行必将会对我国乳酸菌研究与应用的发展做出贡献。

中国工程院院士

2017年8月3日

# 前 言

乳酸菌在自然界分布十分广泛，存在于多种自然生境中。乳酸菌是一类古老的生物，尽管起初对乳酸菌的科学认识有限，但人类对乳酸菌的利用却具有十分悠久的历史，据考古资料，可以追溯到 10 000 多年前，那时人类就已经开始制作自然乳酸发酵乳制品等发酵食品。在漫长的历史进程中，在古埃及、古两河流域、古印度和古代中国等世界不同地区出现了基于乳类、谷物和果蔬等不同原料的特色乳酸菌发酵食品，成为人类丰富多彩饮食文化的一个重要组成部分，时至今日，乳酸菌发酵食品依然是某些地区人类的重要食品来源，为人类社会的进步和发展做出了重要的贡献。

回顾历史，乳酸菌的科学研究与实践应用实现飞速发展是在 19 世纪末和 20 世纪初人类自然科学大发展的背景下发生的。19 世纪中期，法国科学家巴斯德发现活乳酸菌形成乳酸，并发表了《关于乳酸发酵的报告》，首次将形成乳酸的微生物引入人类的视野。1873 年，英国科学家李斯特用系列稀释的方式从牛乳中分离得到了第一种典型乳酸菌的纯培养菌株——乳酸链球菌。之后，科学家陆续发现了德氏乳杆菌、嗜酸乳杆菌、保加利亚乳杆菌\*、双歧杆菌等不同的乳酸菌。丹麦科学家奥拉·詹森在前人的研究基础上，系统描述了多种不同的乳酸菌，1919 年出版的 *Dairy Bacteriology* 一书，可以看作是乳酸菌科学理论与应用技术体系形成的一个标志。

立足现在，乳酸菌是一类发酵碳水化合物产生乳酸的微生物的统称，代表了生物界中一种典型的生物代谢类型，可以作为生化代谢、遗传进化和分子修饰等生命科学研究的模式生物材料。同时，作为一类重要的经济微生物，乳酸菌在生物工程、食品制造、医药健康、农牧水产和环境保护等社会实践领域有着十分广泛的应用。因此，乳酸菌既具有重要的科学研究价值，又具有很高的经济应用价值，围绕乳酸菌有关的基础科学理论与应用技术已经成为一个相对独立的研究与应用主题，各国研究人员从乳酸菌的微生物学、分类进化、生态分布、营养代谢、生物遗传、功能发掘，以及在不同领域中的应用开展了广泛而深入的研究，已经形成了一个相对独立的理论研究与应用技术体系，特别是在 20 世纪末和 21 世纪初，随着以基因组学、蛋白质组学和代谢组学等为代表的多种组学技术和生物信息分析技术在乳酸菌研发领域的应用，乳酸菌科学与技术发展到了一个前所未有的高度。

目前，乳酸菌对人体健康的作用受到越来越多的重视，全球乳酸菌市场保持稳健增长，乳酸菌发酵乳、乳酸菌饮料、乳酸菌制剂等产品不断涌现，乳酸菌产业蓬勃发展。我国乳酸菌产业以年均 20% 以上的增速飞速发展，2014 年，我国乳酸菌产业规模超过 400 亿元人民币，全球市场规模已经超过 288 亿美元，并以每年 20% 的速度增长，被称为“食品科技皇冠上的明珠”。对乳酸菌而言，国内外已经出版了一系列关于乳酸菌科学与技术的学术著作，英文著作如 *Lactic Acid Bacteria—Microbiological and Functional Aspects* (Lahtinen et al., 2011, CRC Press)、*Biotechnology of Lactic Acid Bacteria Novel Applications* (second edition) (Mozzi et al., 2016, John Wiley & Sons); 中文著作有《乳酸菌生物学基础及应用》(杨洁彬等, 1996)、《乳酸细菌——基础、技术与应用》(张刚等, 2007)、《乳酸菌与乳品发酵剂》(孟祥晨等, 2009) 等，这些著作对乳酸菌的基础理论和应用技术做了详细的介绍，涉及了乳酸菌基础科学理论和应用技术的不同主题，但侧重内容与主题各有不同。

笔者带领的研究团队主要从事乳酸菌基础理论与应用的科学研究与开发工作，在乳酸菌生物多样性分析及乳酸菌资源的搜集整理、乳酸菌的功能挖掘与评价、乳酸菌的基础科学理论及与环境因子的相互

\* 该菌种在 2014 年更名为德氏乳杆菌保加利亚亚种。分类名称发生变化的菌种还有乳双歧杆菌(现名动物双歧杆菌乳酸亚种)、婴儿双歧杆菌(现名长双歧杆菌婴儿亚种)等。根据行文表述需要，正文中特别是直接引用文献时，仍保留了这些菌种的旧称。

作用，以及乳酸菌产业应用方面开展了深入的研究，先后承担了与乳酸菌有关的国家自然科学基金、国家 863 计划和国家科技支撑计划等国家级与省部级科研项目，取得了一些突出的研究成果。特别是近年来，新技术的应用使乳酸菌科学与技术的研究和应用取得了飞速的发展。为此，笔者研究团队尝试从乳酸菌的基础生物学（涉及系统分类、生态分布、生理代谢、遗传重组），乳酸菌的实验方法学（涉及分离鉴定、培养保藏、遗传操作、组学分析），乳酸菌环境生理学与生态学（涉及酸、渗透压、温度、氧化、噬菌体、胆盐、饥饿等环境胁迫与细胞响应），乳酸菌生物工程（涉及有机酸、胞外多糖、维生素、细菌素、糖醇类物质、功能性脂肪酸、药物与生物制品），乳酸菌功能挖掘（涉及功能挖掘方法学、肠道健康、机体免疫、保障食品安全、典型案例、乳酸菌菌剂安全性评价等），乳酸菌工业应用（涉及发酵乳、发酵果蔬、发酵谷物、酒精类饮料、发酵剂制备、医药制剂、动物饲料），乳酸菌有关法规管理等几个大的层次来进行整本著作的组织，力求在乳酸菌已有知识体系的基础上将乳酸菌科学与技术方面的新理论、新技术、新应用等展示给读者。

我们希望能编写出一本涵盖基础理论与最新研究进展全貌的关于乳酸菌科学与技术的系统性专著。但是，限于编者学识和学术水平，加之资料搜集与整合不足，难免存在纰漏与不足，敬请读者批评指正。



江南大学

2017年5月27日

# 目 录

## 第一篇 绪 论

绪论	3
第一节 乳酸菌的概述与定义	3
第二节 乳酸菌科学与技术及其应用的发展历程	4
第三节 乳酸菌在人类社会实践中的应用	13
第四节 乳酸菌科学与技术体系及发展前沿	15
第五节 本书组织结构	17
参考文献	18

## 第二篇 乳酸菌的基础生物学

第一章 乳酸菌的生物多样性	23
第一节 发酵食品中的乳酸菌多样性	23
第二节 人体中的乳酸菌多样性	26
第三节 动物体中的乳酸菌多样性	28
第四节 土壤、水中的乳酸菌多样性	31
参考文献	32
第二章 乳酸菌的分类	37
第一节 乳酸菌微生物学分类的发展与演化	37
第二节 乳酸菌分类鉴定方法	39
第三节 乳酸菌相关菌属的划分	41
第四节 乳酸菌相关菌属及其特性	43
参考文献	64
第三章 乳酸菌生理学	70
第一节 乳酸菌的营养特性	70
第二节 乳酸菌的碳代谢	74
第三节 乳酸菌的氮代谢	79
第四节 影响乳酸菌生长的因素	81
参考文献	84
第四章 乳酸菌遗传学	87
第一节 乳酸菌基因组学简介	87
第二节 乳酸菌质粒	104

第三节 乳酸菌基因转移 .....	105
第四节 乳酸菌基因重组 .....	107
参考文献 .....	108
<b>第五章 乳酸菌的噬菌体 .....</b>	<b>114</b>
第一节 乳酸菌噬菌体的特性 .....	114
第二节 乳酸菌对噬菌体侵染的响应 .....	119
第三节 乳酸菌对噬菌体的防御策略 .....	122
第四节 乳酸菌对噬菌体的对抗策略 .....	126
第五节 乳酸菌噬菌体应用与前景 .....	126
参考文献 .....	130
<b>第六章 乳酸菌遗传操作系统及应用 .....</b>	<b>138</b>
第一节 乳酸菌表达系统 .....	138
第二节 乳酸菌食品级表达系统 .....	148
第三节 乳酸菌基因敲除系统 .....	154
参考文献 .....	159

### 第三篇 乳酸菌的组学

<b>第七章 乳酸菌的比较基因组学 .....</b>	<b>169</b>
第一节 乳酸菌基因组的进化 .....	169
第二节 乳酸菌基因组对环境的适应性 .....	177
第三节 比较基因组学在乳酸菌分类中的应用 .....	180
第四节 比较基因组学在乳酸菌压力应答研究中的应用 .....	181
参考文献 .....	183
<b>第八章 乳酸菌的转录组学 .....</b>	<b>190</b>
第一节 转录组学概述 .....	190
第二节 转录组学的研究技术 .....	191
第三节 转录组学在乳酸菌环境应激研究中的应用 .....	193
第四节 转录组学在乳酸菌发酵食品群落结构分析中的应用 .....	198
第五节 转录组学在乳酸菌和宿主相互作用研究中的应用 .....	203
参考文献 .....	205
<b>第九章 乳酸菌的蛋白质组学 .....</b>	<b>209</b>
第一节 蛋白质组学概述 .....	209
第二节 蛋白质组学研究技术 .....	211
第三节 蛋白质组学在乳酸菌研究中的应用 .....	213
参考文献 .....	224
<b>第十章 乳酸菌的代谢组学 .....</b>	<b>230</b>
第一节 代谢组学概述 .....	230
第二节 代谢组学研究技术 .....	234
第三节 代谢组学在乳酸菌环境应激研究中的应用 .....	237



第四节	代谢组学在乳酸菌发酵食品研究中的应用 .....	238
第五节	代谢组学在乳酸菌和宿主相互作用研究中的应用 .....	240
第六节	代谢组学在乳酸菌发酵工程中的应用 .....	240
第七节	代谢组学在乳酸菌菌种鉴定中的应用 .....	243
参考文献	.....	244

## 第四篇 乳酸菌的环境生理学

第十一章	乳酸菌对酸胁迫的响应 .....	253
第一节	细胞膜与酸胁迫 .....	253
第二节	ATP 酶与酸胁迫 .....	254
第三节	乳酸菌在酸胁迫下的代谢响应 .....	255
第四节	乳酸菌酸胁迫响应强化及其应用 .....	263
参考文献	.....	264
第十二章	乳酸菌对胆盐胁迫的响应 .....	271
第一节	胆盐 .....	271
第二节	胆盐胁迫下乳酸菌的生长与存活 .....	272
第三节	细胞壁、细胞膜与胆盐胁迫 .....	273
第四节	胆盐水解酶、胆盐转运子与胆盐胁迫 .....	275
第五节	胆盐胁迫下乳酸菌的代谢反应 .....	276
第六节	乳酸菌胆盐胁迫响应强化及其应用 .....	278
参考文献	.....	279
第十三章	乳酸菌对渗透压胁迫的响应 .....	281
第一节	高渗胁迫下乳酸菌的生长与存活 .....	282
第二节	离子平衡在乳酸菌渗透胁迫中的作用 .....	283
第三节	相容性溶质的摄取与调节 .....	286
第四节	渗透胁迫下其他细胞反应 .....	293
参考文献	.....	294
第十四章	乳酸菌对温度胁迫的响应 .....	298
第一节	温度胁迫下乳酸菌的生长 .....	298
第二节	乳酸菌的冷胁迫应激反应 .....	299
第三节	乳酸菌的热激反应 .....	301
第四节	乳酸菌温度胁迫反应的强化及其应用 .....	304
参考文献	.....	304
第十五章	乳酸菌对氧化胁迫的响应 .....	307
第一节	氧化胁迫下乳酸菌的生长 .....	307
第二节	乳酸菌氧化胁迫的种类及特征 .....	308
第三节	氧化胁迫下乳酸菌的代谢响应 .....	310
第四节	乳酸菌氧化胁迫反应的调节机制 .....	312
第五节	乳酸菌氧化胁迫的响应强化及其应用 .....	314

参考文献	316
<b>第十六章 乳酸菌对饥饿胁迫的响应</b>	319
第一节 饥饿状态下乳酸菌的生长	319
第二节 饥饿状态下乳酸菌的代谢响应	320
第三节 乳酸菌饥饿胁迫反应的调节机制	323
第四节 乳酸菌饥饿胁迫的响应强化与应用	326
参考文献	326

## 第五篇 乳酸菌的生物工程

<b>第十七章 乳酸菌与乳酸</b>	333
第一节 乳酸概述	333
第二节 产乳酸乳酸菌菌种的选择和改良	335
第三节 乳酸菌工业乳酸发酵的代谢调控	338
第四节 乳酸菌乳酸的功能	340
第五节 乳酸及其衍生物的应用	341
参考文献	346
<b>第十八章 乳酸菌与 <math>\gamma</math>-氨基丁酸及双乙酰</b>	351
第一节 乳酸菌与 $\gamma$ -氨基丁酸	351
第二节 乳酸菌与双乙酰	354
参考文献	359
<b>第十九章 乳酸菌与共轭脂肪酸</b>	363
第一节 共轭脂肪酸的概述	363
第二节 产共轭脂肪酸的乳酸菌种属及其生物转化	365
第三节 乳酸菌共轭脂肪酸的生物活性	375
第四节 乳酸菌产共轭脂肪酸的应用前景	380
参考文献	380
<b>第二十章 乳酸菌与胞外多糖</b>	389
第一节 产胞外多糖的乳酸菌菌株	389
第二节 乳酸菌胞外多糖的分类与结构	390
第三节 乳酸菌胞外多糖的研究方法	393
第四节 乳酸菌胞外多糖的生物合成和遗传调控	397
第五节 乳酸菌胞外多糖的生产	400
第六节 乳酸菌胞外多糖的功能与应用	400
参考文献	403
<b>第二十一章 乳酸菌与 B 族维生素</b>	409
第一节 叶酸	409
第二节 核黄素	415
第三节 钴胺素	418
第四节 其他 B 族维生素	421

参考文献	423
<b>第二十二章 乳酸菌与细菌素</b>	428
第一节 细菌素的概述与分类	428
第二节 乳酸菌细菌素种类与结构	434
第三节 典型乳酸菌细菌素的生物合成和遗传调控	440
第四节 细菌素的作用机制	442
第五节 细菌素结构与功能的关系	445
第六节 乳酸菌细菌素的应用与前景展望	446
参考文献	450
<b>第二十三章 乳酸菌与糖醇</b>	454
第一节 糖醇的分类与分布	454
第二节 糖醇的理化特点	455
第三节 产糖醇的乳酸菌及其糖醇代谢途径	456
第四节 乳酸菌糖醇的生产与应用	459
参考文献	462

## 第六篇 乳酸菌的功能挖掘与评价

<b>第二十四章 乳酸菌的功能评价模型</b>	469
第一节 乳酸菌功能评价模型的历史与发展	469
第二节 体外模型	470
第三节 细胞与离体组织模型	477
第四节 活体动物模型	481
第五节 人体模型	491
参考文献	493
<b>第二十五章 乳酸菌与肠道健康</b>	501
第一节 概述	501
第二节 乳酸菌对肠易激综合征的影响	505
第三节 乳酸菌对感染性腹泻的作用及影响	508
第四节 乳酸菌对炎性肠病的作用及影响	511
第五节 乳酸菌对坏死性小肠结肠炎的作用及影响	513
第六节 乳酸菌对结肠癌的作用及影响	517
第七节 乳酸菌在肠道疾病治疗方面的挑战及发展趋势	522
参考文献	525
<b>第二十六章 乳酸菌与宿主免疫</b>	531
第一节 宿主免疫	531
第二节 乳酸菌调节宿主免疫	533
第三节 乳酸菌细胞组分的免疫调节作用	541
参考文献	547

<b>第二十七章 乳酸菌对食品中危害因子的减除</b> .....	554
第一节 食品中危害因子的种类及现状概述 .....	554
第二节 乳酸菌减除重金属 .....	554
第三节 乳酸菌对食品加工过程中危害因子的减除 .....	560
第四节 乳酸菌减除微生物毒素 .....	565
参考文献 .....	572
<b>第二十八章 广泛应用的具有优良生理功能的乳酸菌菌株</b> .....	581
第一节 干酪乳杆菌代田株 .....	581
第二节 鼠李糖乳杆菌 GG .....	585
第三节 动物双歧杆菌乳酸亚种 BB-12 .....	588
第四节 格氏乳杆菌 LG21 .....	592
第五节 干酪乳杆菌 CRL 431 .....	595
第六节 嗜酸乳杆菌 NCFM .....	598
第七节 嗜酸乳杆菌 LA-5 .....	602
第八节 动物双歧杆菌乳酸亚种 HN019 .....	605
第九节 植物乳杆菌 ST-III .....	608
第十节 益生菌剂 VSL#3 .....	611
第十一节 干酪乳杆菌 Zhang .....	614
第十二节 植物乳杆菌 CCFM8610 .....	618
参考文献 .....	620
<b>第二十九章 乳酸菌的安全评价</b> .....	632
第一节 乳酸菌安全性评价的发展和现状 .....	632
第二节 乳酸菌安全的评价方法和原则 .....	641
参考文献 .....	651

## 第七篇 乳酸菌的工业应用

<b>第三十章 乳酸菌发酵剂的制备技术</b> .....	661
第一节 乳酸菌发酵剂概述 .....	661
第二节 液态乳酸菌发酵剂的制备技术 .....	666
第三节 干制乳酸菌发酵剂制备技术 .....	674
第四节 冷冻乳酸菌发酵剂制备技术 .....	687
参考文献 .....	688
<b>第三十一章 乳酸菌与发酵乳制品</b> .....	692
第一节 概述 .....	692
第二节 发酵酸乳制品 .....	693
第三节 酸奶油 .....	704
第四节 奶酪 .....	705
参考文献 .....	713

<b>第三十二章 乳酸菌与发酵谷物</b> .....	716
第一节 概述 .....	716
第二节 酸面团 .....	718
第三节 乳酸菌参与发酵的谷物调味品 .....	724
第四节 其他乳酸菌参与发酵的谷物制品 .....	732
参考文献 .....	735
<b>第三十三章 乳酸菌与发酵果蔬</b> .....	739
第一节 概述 .....	739
第二节 乳酸菌发酵蔬菜 .....	744
第三节 乳酸菌发酵果蔬汁饮料 .....	751
参考文献 .....	754
<b>第三十四章 乳酸菌与发酵肉制品</b> .....	757
第一节 概述 .....	757
第二节 发酵香肠 .....	758
第三节 发酵火腿 .....	762
参考文献 .....	764
<b>第三十五章 乳酸菌医药制剂的制备技术</b> .....	766
第一节 乳酸菌在医药制剂中的应用和发展 .....	766
第二节 乳酸菌医药制剂的种类和制备工艺 .....	771
第三节 国内外知名乳酸菌医药制剂介绍 .....	776
第四节 乳酸菌医药制剂的现有问题和展望 .....	779
参考文献 .....	780
<b>第三十六章 乳酸菌与动物、水产养殖</b> .....	782
第一节 乳酸菌在畜牧业中的应用 .....	782
第二节 乳酸菌在家禽养殖中的应用 .....	788
第三节 乳酸菌在水产养殖中的应用 .....	790
参考文献 .....	797

## 第八篇 乳酸菌的有关法规管理

<b>第三十七章 我国乳酸菌相关标准及法规管理</b> .....	803
第一节 中国乳酸菌法规的法律渊源与定义 .....	803
第二节 乳酸菌的应用及相关法规 .....	805
第三节 食品中乳酸菌管理的法律规范 .....	807
第四节 饲料中乳酸菌的法规管理 .....	813
第五节 微生态医药制剂中乳酸菌的管理规范 .....	815
参考文献 .....	816
<b>第三十八章 国外乳酸菌相关标准及法规管理</b> .....	818
第一节 美国乳酸菌法规标准 .....	818
第二节 欧盟乳酸菌法规标准 .....	826

第三节 日本乳酸菌法规标准 .....832  
参考文献 .....835

## 第九篇 乳酸菌的实验方法学

第三十九章 乳酸菌的分离培养 ..... 841  
第一节 按来源进行分离与培养 ..... 842  
第二节 按照种属进行分离与培养 ..... 848  
参考文献 ..... 870  
第四十章 乳酸菌的鉴定 ..... 873  
第一节 乳酸菌常规鉴定技术 ..... 873  
第二节 乳酸菌生化快速鉴定系统 ..... 886  
第三节 乳酸菌基因鉴定系统 ..... 887  
参考文献 ..... 903  
第四十一章 乳酸菌的保藏 ..... 905  
第一节 定期移植保藏法 ..... 905  
第二节 液体石蜡保藏法 ..... 906  
第三节 甘油保藏法 ..... 906  
第四节 冷冻干燥保藏法 ..... 907  
第五节 液氮超低温保藏法 ..... 909  
参考文献 ..... 911  
第四十二章 乳酸菌的基因工程操作 ..... 912  
第一节 质粒提取 ..... 912  
第二节 乳酸菌感受态细胞的制备和电击转化 ..... 915  
参考文献 ..... 924

图版



# 第一篇

## 绪 论