

乳酸细菌

—— 基础、技术和应用

●●●●● 张 刚 主 编 ●●●●●



化学工业出版社
生物·医药出版分社

乳酸细菌

—— 基础、技术和应用

张刚 主编

张刚 主编

张刚 主编

张刚 主编

张刚 主编

张刚 主编

张刚 主编



化学工业出版社
生物·医药出版分社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

乳酸细菌——基础、技术和应用/张刚主编. —北京:
化学工业出版社, 2006.10
ISBN 978-7-5025-9420-6

I. 乳… II. 张… III. 乳酸细菌-基本知识 IV. Q939.11

中图版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127374 号

乳酸细菌——基础、技术和应用

张 刚 主编

责任编辑: 孟 嘉 周 旭 李植峰

文字编辑: 焦欣渝

责任校对: 战河红

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
生物·医药出版分社

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010)64518888

购书传真: (010)64519686

售后服务: (010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 30 $\frac{3}{4}$ 彩插 2 字数 730 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9420-6

定 价: 85.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

编写人员名单

主 编：张 刚

副 主 编：范培萍 蔡妙英 周德庆 费翅鲲

编委成员（按编写章节顺序排序）：

张 刚	蔡妙英	周德庆	康 白	袁杰利	费翅鲲
范连花	王文凤	佟卉春	东秀珠	冉 陆	郭杰炎
陈有容	齐凤兰	雷肇祖	钱志良	王 健	劳含章
林文彬	范培萍	黄克文	胡学智		

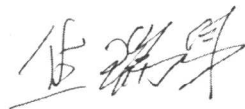
序

乳酸菌是有益菌，它造福人类数千年了。有了乳酸菌，食品风味更好，保存时间更长。早在 20 世纪初，俄国科学家、法国巴斯德研究所所长梅契尼科夫就提出乳酸菌“长寿说”，此后，层出不穷的研究成果表明，乳酸菌有益人体健康，特别揭示出人体肠道内的双歧杆菌与人的寿命有一定的关系。这就是乳酸菌为什么受到世人的关注而长盛不衰，乳酸菌为什么被众人广泛使用，乳酸菌的研究领域为什么这么广阔的原因。一句话，乳酸菌历史悠久，源远流长，方兴未艾。目前，乳酸菌已广泛应用于食品、药品、酿造、饲料、肥料、环保、材料和基因工程等领域，引起各国学者和研究人员以及众多世界著名企业的浓厚兴趣。

自 20 世纪 80 年代以来，我国科学家对乳酸菌的研究成果多，发表论文多，公开专利也多，而对乳酸菌的专著仅有杨洁彬等著的《乳酸菌——生物学基础及应用》、凌代文和东秀珠编著的《乳酸细菌分类鉴定及实验方法》、周开孝著的《乳酸菌》等。这方面的外文书籍却很多。今天，《乳酸细菌——基础、技术和应用》一书的出版，正是填补了国内这一空缺。本书的编者中有张刚、蔡妙英、周德庆、康白、郭杰炎、胡学智、雷肇祖、王文凤、东秀珠等国内微生物和乳酸菌研究和应用领域的专家和学者，也有多年从事乳酸菌产品研发的中青年精英，这是一支对乳酸菌各领域均有建树的优秀团队。

该书的编者充分利用网络技术，搜索当前最新动态和科技前沿，按照微生物学权威的《国际系统与进化微生物学》杂志（IJSEM）的分类和命名，比较系统地归纳整理了乳酸菌的分类和命名，在国内首次提出乳酸细菌 43 个属、373 个种和亚种，首次比较完整地提出乳酸菌的定义。书中关于对乳酸菌生理的论述，比较新颖，技术篇和应用篇几乎包括乳酸菌研究、开发、制造等所有方面，既具有科学性、先进性、新颖性，又具有很强的实用性。

我谨将《乳酸细菌——基础、技术和应用》一书介绍给微生物界的各位同仁，并衷心感谢该书的编者，为发展我国的乳酸菌事业，做了一件大好事。



2006 年 12 月

前言

为什么要写《乳酸细菌》这本书？这是因为：

乳酸菌的昨天（1900年前），源远流长，使用多，发现多，贡献大；

乳酸菌的今天（1901~2006年），方兴未艾，研究多，认识多，应用广；

乳酸菌的明天（2007年~），前景广阔，课题深，范围广，无限好。

乳酸菌无处不在，与人类健康息息相关。而人类对乳酸菌的认识，是一个从无知到有知、从知道不多到深入了解、从自然使用到科学应用的漫长过程。可以说，人类对乳酸菌的认识，在不断回归真理。

人类祖先发现酸乳不仅美味可口，而且可强身健体。科学家们发现乳酸菌实在神奇，它具有各种医疗保健作用：营养作用、改善胃肠道功能、改善便秘、改善腹泻、抗过敏、抗肿瘤、抗辐射、增强免疫调节、降低胆固醇、降血压、降血糖、改善泌尿生殖系统、改善高血脂、防止龋齿、美容、有益长寿等。科学家们持之以恒地对乳酸菌进行研究，包括分离、培养、鉴定、命名、分类、生理、生态、遗传、应用和机理等。乳酸菌的应用领域越来越广阔，包括乳酸菌食品、乳酸菌保健食品、乳酸菌药品、乳酸菌工业品、乳酸菌饲料和肥料、乳酸菌科研用途六大应用领域，并且还在不断扩大，为提高人类健康水平作出更大的贡献。进入21世纪以来，乳酸菌受到更多的关注。2000~2006年，以乳酸菌（lactic acid bacteria）为关键词，检索到的英文文献4286篇、中文文献945篇，据不完全统计，国内发表乳酸菌论文的自然科学杂志也达到122种。科学家对乳酸菌的研究日新月异，截至2002年年底，全球已完成基因组DNA测序的乳酸菌有6个；俄罗斯莫斯科大学研究人员发现，乳酸菌能有效抑制基因和染色体变异；乳链菌肽（Nisin）是一种高效、无毒的天然防腐剂；聚乳酸作为一种可降解环保型材料在市场上受宠；乳酸菌GG株（*L. rhamnosus*）能预防和治疗胃肠疾病、呼吸道感染、抗生素相关肠炎、免疫缺陷疾病（如艾滋病）等。2002年美国微生物学教授Savage宣布：正常菌群是一个像呼吸、循环、消化、神经、运动、生殖、泌尿、内分泌和皮肤一样的系统，被称为第十大系统——微生态系统。乳酸菌与人类生存息息相关，人类对乳酸菌的探索继往开来。因此，本书的目的就是让广大微生物工作者、乳酸菌商品爱好者和制造者们更好地了解乳酸菌，认识乳酸菌，研究乳酸菌，利用乳酸菌，改造乳酸菌。

全书分为三篇：基础篇、技术篇和应用篇。

第1篇基础篇包括：第1章乳酸菌的发现、定义和分布（张刚），第2章乳酸菌的分类（蔡妙英），第3章乳酸菌的生理特性（周德庆），第4章乳酸菌的微生态学（康白、

袁杰利), 第5章乳酸菌的基因(费翅鲲)。

第2篇技术篇包括: 第6章乳酸菌的分离、培养和保藏技术(范连花), 第7章乳酸菌的厌氧、微氧和二氧化碳培养技术(王文凤), 第8章乳酸菌鉴定技术(蔡妙英), 第9章乳酸菌鉴定的分子生物学技术(佟卉春、东秀珠), 第10章乳酸菌的保健功能评价技术(冉陆、费翅鲲)。

第3篇应用篇包括: 第11章乳酸菌与乳品加工(郭杰炎), 第12章乳酸菌与其他食品加工(陈有容、齐凤兰), 第13章乳酸菌的乳酸发酵和聚乳酸(雷肇祖、钱志良、王健、劳含章), 第14章乳酸菌素与胞外多糖(林文彬、黄克文), 第15章乳酸菌与医疗保健(范培萍、黄克文、费翅鲲), 第16章乳酸菌制剂(黄克文、范培萍), 第17章乳酸菌生长促进因子——功能性低聚糖(胡学智)。

附录包括: 乳酸菌属、种的发现者和模式菌株表; 微生物菌种保藏机构; 乳酸菌培养基; 乳酸菌相关法规标准; 乳酸菌相关协会及会议; 乳酸菌书籍; 乳酸菌专利等实用资料。

本书按目前的分离、鉴定和分类水平, 根据《国际系统与进化微生物学》杂志(IJSEM), 在国内首次系统整理出乳酸菌的43个属, 包括373个种。按照ATCC资料, 附录中列出乳酸菌的512个种和亚种, 其中带星号者编者尚未最后考证。

本书编者, 张刚为发酵工程教授级高级工程师, 著有《发酵工业》、《走进微生态》; 周德庆为复旦大学教授(微生物专业), 著有《微生物学》、《微生物学实验手册》、《微生物生理代谢实验技术》、《微生物学教程》、《普通生物学专题汇编》, 译著有《普通微生物学》、《普通生物学专题汇编》等; 蔡妙英为中国科学院微生物研究所研究员, 著有《细菌名称》、《常见细菌系统鉴定手册》等; 康白为大连医学院教授, 著有《微生态学》、《双歧杆菌》、《微生态学原理》等; 郭杰炎为复旦大学微教授(微生物专业), 著有《微生物酶》、《细菌的新陈代谢》、《发酵工业全书》和《普通微生物学》; 东秀珠为中国科学院微生物研究所教授, 著有《常见细菌系统鉴定手册》。

因为乳酸菌是一类能发酵碳水化合物、主要产物为乳酸的微生物的通称, 而不是微生物分类学上的名称, 所以, 乳酸菌应该包括产乳酸的细菌、霉菌和酵母。但本书内容仅涉及产乳酸的细菌, 没有论述产乳酸的霉菌和酵母, 因此本书主书名定为《乳酸细菌》(lactic acid bacteria)更为准确。

为保持全书文字简洁, 对重复出现的菌种名称采用了缩写, 以便读者阅读。例如: *Lactobacillus* 缩写为 *L.*; *Enterococcus* 缩写为 *Ec.*; *Leuconostoc* 缩写为 *Leu.*; *Streptococcus* 缩写为 *S.*; *Lactococcus* 缩写为 *Lc.*; *Bifidobacterium* 缩写为 *B.*。

虽然本书作者中多名教授从事乳酸菌的研究和生产实践, 但完成本书还是要借鉴前人大量中、外文文献资料, 在此对这些资料的作者表示衷心的感谢。同时, 衷心感谢郭兴华为本书提供资料, 张勤、房晓燕、陈玉婷在电脑制图和打字排版中付出的辛勤劳动。

乳酸菌研究、开发和应用正如火如荼地发展, 全面、准确和及时反映乳酸菌真实状况是本书的宗旨。因作者水平有限, 书中出现遗漏和不妥之处在所难免, 请读者批评指正。

编者
2006年12月

目 录

第1篇 基础篇

第1章 乳酸菌的发现、定义和分布 ... 2	
1.1 乳酸菌的发现 4	
1.1.1 巴斯德发现乳酸菌 4	
1.1.2 蒂赛发现双歧杆菌 5	
1.1.3 梅契尼科夫与《长寿说》 8	
1.1.4 现已发现乳酸菌的属和种 8	
1.2 乳酸菌定义和分类方法 11	
1.2.1 乳酸菌定义 11	
1.2.2 乳酸菌在《伯杰氏系统细菌学手册》中的分类方法 11	
1.2.3 奥拉·詹森的分类方法 12	
1.2.4 Kandler 和 Weiss 的分类方法 12	
1.2.5 乳酸菌的现代分类和鉴定方法 12	
1.3 乳酸菌的分布 12	
1.3.1 人体中的乳酸菌 13	
1.3.2 动物和动物产品中的乳酸菌 16	
1.3.3 植物和植物制品中的乳酸菌 18	
1.3.4 土壤、空气和水中的乳酸菌 20	
参考文献 20	
第2章 乳酸细菌的分类 22	
2.1 乳酸细菌的分类地位 22	
2.2 各类乳酸细菌的属、种描述 25	
2.2.1 闪烁杆菌属 25	
2.2.2 栖热袍菌属 25	
2.2.3 毛螺菌属 26	
2.2.4 瘤胃球菌属 27	
2.2.5 光岗菌属 27	
2.2.6 热厌氧菌属 28	
2.2.7 嗜盐菌属 28	
2.2.8 芽孢杆菌属 28	
2.2.9 糖球菌属 30	
2.2.10 利斯特氏菌属 30	
2.2.11 索丝菌属 30	
2.2.12 芽孢乳杆菌属 31	
2.2.13 微小杆菌属 32	
2.2.14 葡萄球菌属 33	
2.2.15 孪生球菌属 40	
2.2.16 乳杆菌属 41	
2.2.17 副乳杆菌属 49	
2.2.18 气球菌属 49	
2.2.19 片球菌属 50	
2.2.20 肉杆菌属 51	
2.2.21 似杆状菌属 51	
2.2.22 海乳杆菌属 52	
2.2.23 肠球菌属 52	
2.2.24 陌生细菌属 55	
2.2.25 蜜蜂球菌属 55	
2.2.26 四联球菌属 56	
2.2.27 漫游球菌属 56	
2.2.28 明串珠菌属 57	
2.2.29 酒球菌属 58	
2.2.30 魏斯氏菌属 59	
2.2.31 链球菌属 60	
2.2.32 乳球菌属 60	
2.2.33 动弯杆菌属 67	
2.2.34 罗氏菌属 67	
2.2.35 科里氏杆菌属 68	
2.2.36 阿托波氏菌属 68	

2.2.37 双歧杆菌属	68	4.2 乳酸菌的黏附性	106
2.2.38 <i>Scardovia</i>	69	4.2.1 黏附的特点及其原因	106
2.2.39 <i>Parascardovia</i>	71	4.2.2 黏附效应	106
2.2.40 拟杆菌属	71	4.2.3 黏附与细胞通讯	107
2.2.41 巨单胞菌属	71	4.2.4 黏附对宿主生理功能的作用	107
2.2.42 纤毛菌属	74	4.3 免疫作用	107
2.2.43 塞巴鲁德氏菌属	74	4.3.1 黏膜免疫	107
参考文献	74	4.3.2 口服耐受性	108
第3章 乳酸菌的生理特性	76	4.3.3 致敏性	108
3.1 乳酸菌的营养	76	4.3.4 免疫防御	109
3.1.1 乳酸菌的细胞组分	76	4.3.5 定植抗力	110
3.1.2 乳酸菌的营养需求	77	4.4 生态调节	110
3.1.3 营养物质运入细胞的方式	81	4.4.1 免疫调节	111
3.2 乳酸菌的代谢途径	83	4.4.2 营养调节	111
3.2.1 糖的主流分解代谢途径	83	4.4.3 小肠运动性调节	111
3.2.2 各种糖在进入代谢途径前的变化	90	4.4.4 食物过敏的调节	111
3.2.3 源于丙酮酸的各种代谢产物	92	4.4.5 血脂调节	111
3.2.4 基于糖代谢的乳酸菌分类	94	4.4.6 血压调节	112
3.2.5 乳酸菌的蛋白质分解活性	97	4.4.7 血糖调节	112
3.3 影响乳酸菌生长的因素	98	参考文献	113
3.3.1 氧气	98	第5章 乳酸菌的基因	114
3.3.2 温度	99	5.1 乳酸菌的染色体	114
3.3.3 pH	100	5.1.1 乳酸菌染色体的基本描述	114
3.3.4 渗透压	100	5.1.2 一些乳酸菌染色体的介绍	114
参考文献	101	5.1.3 乳酸菌染色体上的一些重要 基因	118
第4章 乳酸菌的微生物生态学	102	5.2 乳酸菌的质粒	119
4.1 细胞通讯	102	5.2.1 乳球菌中的质粒	120
4.1.1 网络空间	103	5.2.2 乳杆菌中的质粒	122
4.1.2 微生物细胞的通讯	103	5.2.3 片球菌中的质粒	123
4.1.3 细菌因子对细胞因子的调控	104	5.2.4 明串珠菌中的质粒	123
4.1.4 细菌对一氧化氮的调控	104	5.2.5 其他乳酸菌质粒	123
4.1.5 乳酸菌的信息传递	105	参考文献	123

第2篇 技 术 篇

第6章 乳酸菌的分离、培养和 保藏技术	126	6.1.3 无菌工作台和无菌室	127
6.1 无菌技术	126	6.2 接种和分离技术	127
6.1.1 细菌检验的一般事项	126	6.2.1 平板划线分离培养法	127
6.1.2 接种环和接种针	126	6.2.2 斜面接种法	128
		6.2.3 液体接种法	128

6.2.4	穿刺接种法	128	7.3.1	厌氧罐	148
6.2.5	倾注平板法	128	7.3.2	厌氧袋	152
6.2.6	涂布法	128	7.3.3	厌氧手套箱	152
6.3	需氧培养法	128	7.3.4	旋转管	154
6.4	培养基组分	129	7.3.5	厌氧维持系统	154
6.4.1	非选择性培养基	129	7.3.6	多功能微生物培养箱	155
6.4.2	选择性培养基	129	7.3.7	二氧化碳培养箱	155
6.5	乳酸菌的分离和培养	130	7.4	厌氧催化剂和氧化还原指示剂	155
6.5.1	乳杆菌的分离和培养	130	7.4.1	厌氧催化剂	155
6.5.2	芽孢乳杆菌的分离和培养	130	7.4.2	氧化还原指示剂	155
6.5.3	芽孢杆菌的分离和培养	130	参考文献		157
6.5.4	链球菌的分离和培养	131	第8章	乳酸菌鉴定技术	158
6.5.5	肠球菌的分离和培养	131	8.1	常规鉴定	158
6.5.6	双歧杆菌的分离和培养	132	8.1.1	检索表	158
6.5.7	明串珠菌的分离和培养	133	8.1.2	鉴定方法	160
6.5.8	利斯特氏菌的分离和培养	134	8.2	快速鉴定	167
6.5.9	乳球菌的分离和培养	134	8.3	基因鉴定	168
6.5.10	酒球菌的分离和培养	135	8.3.1	DNA的(G+C)含量测定	168
6.5.11	索丝菌的分离和培养	135	8.3.2	DNA/DNA同源性测定	170
6.5.12	拟杆菌的分离和培养	135	参考文献		171
6.6	乳酸菌的保藏	136	第9章	乳酸菌鉴定的分子生物学技术	172
6.6.1	定期移植保藏法	137	9.1	保守生物大分子分析	173
6.6.2	液体石蜡保藏法	137	9.1.1	核糖体DNA的种、属特异性 序列扩增	173
6.6.3	冷冻干燥保藏法	137	9.1.2	16S rDNA序列同源性分析	175
6.6.4	液氮超低温保藏法	138	9.1.3	核糖体DNA(rDNA)的种、属 特异性核酸探针杂交	177
参考文献		138	9.1.4	rDNA转录间隔区序列分析	179
第7章	乳酸菌的厌氧、微氧和 二氧化碳培养技术	140	9.1.5	16S rDNA扩增片段的碱基差异 分析	179
7.1	概述	140	9.2	DNA指纹图谱技术	181
7.1.1	细菌分类	140	9.2.1	基因组DNA限制性片段长度 多态性分析	181
7.1.2	乳酸细菌的需氧要求	141	9.2.2	全基因组DNA的脉冲场凝胶 电泳	182
7.1.3	二氧化碳的需求	141	9.2.3	扩增核糖体DNA限制性片段长度 多态性分析	183
7.1.4	初次分离乳酸细菌	141	9.2.4	核糖体分型	183
7.1.5	厌氧、微氧和二氧化碳培养 技术的意义	141	9.2.5	随机扩增多态性DNA分析	187
7.2	方法	141			
7.2.1	化学方法	142			
7.2.2	物理方法	146			
7.2.3	生物方法	147			
7.2.4	加入还原剂法	147			
7.3	培养装置	148			

9.2.6 扩增片段长度多态性分析	188
9.3 基因组全序列杂交	190
参考文献	191

第10章 乳酸菌的保健功能评价

技术	192
10.1 菌种鉴定和乳酸菌计数	193
10.1.1 菌种鉴定	193
10.1.2 乳酸菌计数	193
10.2 安全性评价	194
10.2.1 体外试验	194

10.2.2 动物试验	195
10.2.3 人体试验	195
10.3 功能试验	196
10.3.1 体外试验	196
10.3.2 动物试验	200
10.3.3 人体试验	206
10.3.4 我国保健食品功能性评价的官方 方法	206
10.4 效力测定	208
参考文献	208

第3篇 应用篇

第11章 乳酸菌与乳品加工

11.1 乳品加工中的常用乳酸菌	213
11.2 牛乳的化学组成与性质	214
11.2.1 乳蛋白	215
11.2.2 乳脂肪	216
11.2.3 乳糖	216
11.2.4 维生素	216
11.2.5 牛乳中的盐类及其他物质	216
11.3 乳酸菌与酸乳、酸奶饮料	217
11.3.1 酸乳的种类	217
11.3.2 酸乳的国家标准	218
11.3.3 酸乳发酵的微生物菌种	218
11.3.4 酸乳的制作工艺	221
11.3.5 酸乳发酵过程主要生化变化	224
11.3.6 酸乳与牛乳的营养比较	225
11.3.7 酸乳的保健作用	226
11.3.8 酸乳与酸乳饮料	226
11.4 乳酸菌与发酵奶油	227
11.4.1 工艺流程	227
11.4.2 酸性奶油生产工艺	227
11.5 乳酸菌与干酪加工	229
11.5.1 干酪的分类	229
11.5.2 干酪制造工艺	230
11.6 开菲尔 (Kefir) 的发酵	232
参考文献	233

第12章 乳酸菌与其他食品加工

12.1 乳酸菌在肉制品中的应用	234
------------------------	-----

12.1.1 肉制品加工中的乳酸菌	234
12.1.2 发酵香肠的生产	237
12.1.3 乳酸菌发酵鱼肉香肠的研究	240
12.1.4 乳酸菌发酵火腿	240
12.1.5 典型产品配方	241
12.1.6 乳酸菌发酵水产品浸出液	241
12.1.7 展望	241
12.2 乳酸菌在果蔬发酵中的应用	242
12.2.1 乳酸菌发酵泡菜	243
12.2.2 乳酸菌发酵日式泡菜 Shibazuke	245
12.2.3 乳酸菌发酵雪菜	245
12.2.4 乳酸菌发酵韩国泡菜	245
12.2.5 乳酸菌发酵酸菜	245
12.2.6 乳酸菌发酵香椿芽	246
12.2.7 乳酸菌发酵竹笋脯	246
12.2.8 乳酸菌发酵莲藕	246
12.2.9 乳酸菌发酵大蒜	246
12.2.10 乳酸菌发酵油橄榄	247
12.2.11 乳酸菌发酵果蔬汁饮料	247
12.2.12 乳酸菌发酵复合蔬菜浆	249
12.2.13 乳酸菌发酵蔬菜汁乳饮料	249
12.3 乳酸菌在植物蛋白食品中的应用	250
12.3.1 乳酸菌发酵豆乳	250
12.3.2 乳酸菌发酵花生乳	253
12.3.3 乳酸菌发酵绿豆酸奶	253
12.3.4 乳酸菌发酵葵花籽乳	254
12.3.5 乳酸菌发酵核桃酸奶	255

12.4 乳酸菌在谷物和薯类制品中的应用	256	14.1.3 乳酸菌素的特性	313
12.4.1 乳酸菌发酵的焙烤制品	256	14.1.4 Nisin	315
12.4.2 谷物乳酸菌发酵饮料	258	14.1.5 乳酸菌素的作用机理及应用	317
12.4.3 乳酸菌发酵断奶食品	260	14.1.6 乳酸菌素的研制与生产	319
12.4.4 其他乳酸菌发酵谷物制品	261	14.2 胞外多糖	320
12.4.5 乳酸菌发酵薯类制品	262	14.2.1 微生物胞外多糖	321
12.5 乳酸菌在酿造工业中的应用	263	14.2.2 乳酸菌胞外多糖	322
12.5.1 乳酸菌在酿酒工业中的应用	263	参考文献	329
12.5.2 乳酸菌在调味品工业中的应用	265		
参考文献	266		
第13章 乳酸菌的乳酸发酵和聚乳酸	269	第15章 乳酸菌与医疗保健	330
13.1 乳酸的一般理化性质	270	15.1 营养作用	331
13.2 微生物发酵法生产乳酸	271	15.1.1 乳酸菌发酵后的营养物质	331
13.2.1 微生物菌种	272	15.1.2 乳酸菌发酵产品的营养价值	332
13.2.2 乳酸发酵菌种的选择和改良	274	15.2 乳酸菌改善胃肠道功能	332
13.2.3 乳酸发酵的工艺过程	278	15.2.1 乳酸菌在胃肠道的分布	332
13.2.4 降低乳酸发酵生产成本的若干措施	288	15.2.2 乳酸菌改善胃肠道功能	333
13.3 乳酸及其衍生物的应用	292	15.2.3 乳酸菌在胃肠道疾病上的应用	335
13.3.1 乳酸在食品工业中的应用	292	15.3 乳酸菌抗肿瘤作用	336
13.3.2 乳酸在化工、轻纺和电子等工业中的应用	293	15.3.1 各种乳酸菌的抗肿瘤作用	336
13.3.3 乳酸在医药工业中的应用	294	15.3.2 作用机理	336
13.3.4 乳酸在农业中的应用	295	15.3.3 应用	338
13.4 聚乳酸及其应用	295	15.4 乳酸菌增强机体免疫作用	339
13.4.1 聚乳酸的简要介绍	295	15.4.1 作用机理	339
13.4.2 乳酸和丙交酯	296	15.4.2 应用	341
13.4.3 聚乳酸的合成	297	15.5 乳酸菌降低胆固醇的作用	341
13.4.4 聚乳酸的特性	302	15.5.1 乳酸菌与胆固醇	341
13.4.5 聚乳酸的降解	303	15.5.2 作用机理	342
13.4.6 聚乳酸的应用	304	15.5.3 应用	343
13.5 结语	307	15.6 乳酸菌对泌尿生殖系统的作用	343
参考文献	308	15.6.1 作用机理	344
		15.6.2 应用	344
第14章 乳酸菌素与胞外多糖	311	15.7 乳酸菌的其他作用	344
14.1 乳酸菌素	311	15.7.1 乳酸菌与美容	344
14.1.1 细菌素	311	15.7.2 乳酸菌与长寿	345
14.1.2 乳酸菌素的分类	311	15.7.3 乳酸菌降低血糖作用	345
		15.7.4 乳酸菌防止龋齿	345
		15.7.5 乳酸菌抗辐射	346
		15.8 乳酸菌的安全性	346
		15.9 灭活乳酸菌的保健功效研究	346
		15.9.1 研究背景及常见方法	347
		15.9.2 主要研究进展	347
		参考文献	350

第 16 章 乳酸菌制剂	353
16.1 概述	353
16.1.1 定义	353
16.1.2 分类	353
16.2 菌种的选择	354
16.2.1 健康特性	354
16.2.2 临床特性	355
16.2.3 稳定性	356
16.2.4 加工技术特性	356
16.3 发酵原料的选择	356
16.3.1 植物性发酵原料	356
16.3.2 动物性发酵原料	357
16.4 生产和加工工艺	357
16.4.1 发酵	357
16.4.2 固定化	359
16.4.3 冷冻干燥	360
16.4.4 喷雾干燥	363
16.5 国内外乳酸菌制剂发展现状	364
16.5.1 国内乳酸菌制剂	364
16.5.2 国外乳酸菌制剂	365
参考文献	366

第 17 章 双歧杆菌生长促进因子——

功能性低聚糖	368
17.1 益生元及其生理功能	368
17.1.1 调整肠道菌群平衡	369
17.1.2 产生有机酸	371
17.1.3 改善脂质代谢	371
17.1.4 促进矿物元素的吸收	372
17.1.5 提高免疫力, 抑制、预防肿瘤	372
17.2 益生元的制备方法	373
17.3 低聚果糖	375
17.3.1 F_m 型低聚果糖	377
17.3.2 GF_n 型低聚果糖	378
17.3.3 生产蔗果低聚糖的酶	378
17.3.4 低聚果糖的理化性质和生理功能	379
17.4 低聚木糖	379
17.4.1 生理功能	379
17.4.2 低聚木糖的制法	380
17.4.3 木聚糖酶	381

17.4.4 低聚木糖的性质和组成	381
17.5 低聚半乳糖和乳蔗糖	382
17.5.1 低聚半乳糖	382
17.5.2 低聚半乳糖的制法	383
17.5.3 乳蔗糖	383
17.6 异麦芽低聚糖	384
17.7 壳寡糖	386
17.7.1 生理功能和用途	386
17.7.2 制造方法	387
17.8 由植物提取的功能性低聚糖	388
17.8.1 大豆低聚糖	388
17.8.2 水苏糖	389
参考文献	390

附录 1 乳酸细菌属、种的发现者和模式菌株表	392
附录 2 微生物菌种保藏机构	410
附录 3 乳酸菌培养基	416
附录 4 中华人民共和国国家标准: 酸牛乳 Yoghurt	428
附录 5 食品卫生微生物学检验: 乳酸菌饮料中乳酸菌检验	432
附录 6 乳酸菌饮料卫生标准	437
附录 7 酸乳卫生标准	440
附录 8 益生菌类保健食品申报与审评规定	443
附录 9 口服双歧杆菌活菌制剂制造及检定规程	445
附录 10 口服双歧杆菌、嗜酸乳杆菌、肠球菌三联活菌制剂制造及检定规程	450
附录 11 口服双歧杆菌、乳杆菌、嗜热链球菌三联活菌片制造及检定规程	455
附录 12 乳酸菌相关协会及会议	461
附录 13 乳酸菌书籍	464
附录 14 乳酸菌专利	466
附录 15 著名微生物学家	477
附录 16 乳酸细菌的显微照片	478
附录 17 发酵工厂设备	480

第 1 篇

基础篇

- 第 1 章 乳酸菌的发现、定义和分布
- 第 2 章 乳酸细菌的分类
- 第 3 章 乳酸菌的生理特性
- 第 4 章 乳酸菌的微生物生态学
- 第 5 章 乳酸菌的基因

第 1 章

乳酸菌的发现、定义和分布

乳酸菌是一类可以使食物（包括植物和动物来源）变酸的细菌，它能将乳变酸，故称之为乳酸菌。它极其微小，肉眼看不见，直径约 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ ，长度约为 $0.5 \sim 40 \mu\text{m}$ 。乳酸菌无处不在，广泛分布在人体、动物、植物和整个自然界。乳酸菌用途广泛，它令食物更美味，并延长保存期；它作为保健食品和药品，可以改善和提高人的健康水平，延年益寿；还可作为微生物学和微生态学领域研究的模式生物。人类在发现和利用乳酸菌方面，经历了三个阶段。

第一阶段，在 19 世纪以前。古人在四五千年前就已经开始饮用酸奶，当时是无意识、无目的的，因偶然发现而应用乳酸菌。在这一阶段，祖先们发现并制造了酸奶，在佛教经典、《圣经·创世纪》和《齐民要术》中都有制作酸奶的记载。

第二阶段，19 世纪。1857 年法国科学家巴斯德发现了乳酸菌。1884 年胡普（Hueppe）首次将“酸奶细菌”命名为“乳酸菌”。这个伟大发现是有目的、有意识的。巴斯德的伟大发现，加快了人类研究和应用乳酸菌的进程。科学家们陆续发现了芽孢杆菌属（*Bacillus*）、纤毛菌属（*Leptotrichia*）、葡萄球菌属（*Staphylococcus*）、链球菌属（*Streptococcus*）、乳杆菌属（*Lactobacillus*）和双歧杆菌属（*Bifidobacterium*）。

第三阶段，20 世纪以来。逐步建立和不断完善了乳酸菌的分类方法，发现并命名了 30 几个乳酸菌属：乳球菌属（*Lactococcus*）、明串珠菌属（*Leuconostoc*）、乳杆菌属（*Lactobacillus*）、拟杆菌属（*Bacteroides*）、肉杆菌属（*Carnobacterium*）、片球菌属（*Pediococcus*）、肠球菌属（*Enterococcus*）、蜜蜂球菌属（*Melissococcus*）、利斯特氏菌属（*Listeria*）、瘤胃球菌属（*Ruminococcus*）、气球菌属（*Aerococcus*）、毛螺菌属（*Lachnospira*）、孪生球菌属（*Gemella*）、塞巴鲁德氏菌属（*Sebaldella*）、芽孢乳杆菌属（*Sporolactobacillus*）、巨单胞菌属（*Megamonas*）、罗氏菌属（*Rothia*）、索丝菌属（*Brochothrix*）、热厌氧菌属（*Thermoanaerobium*）、光岗菌属（*Mitsuokella*）、糖球菌属（*Saccharococcus*）、微小杆菌属（*Exiguobacterium*）、动弯杆菌属（*Mobiluncus*）、闪烁杆菌属（*Fervidobacterium*）、栖热袍菌属（*Thermotoga*）、科里氏杆菌属（*Coriobacterium*）、漫游球菌属（*Vagococcus*）、阿托波氏菌属（*Atopobium*）、四联球菌属（*Tetragenococcus*）、魏斯氏菌属（*Weissella*）、酒球菌属（*Oenococcus*）、嗜盐菌属（*Halocella*）、副乳杆菌属（*Paralactobacillus*）、陌生细菌属（*Atopobacter*）、*Scardovia*、*Parascardovia*、似杆状菌属（*Isobaculum*）、海乳杆菌属（*Marinilactobacillus*）。科学家们应用新技术、新观念、新方法研究出新的发现，并创造出许多新用途。我们相信，对乳酸菌的研究愈深入，其应用前景就愈加灿烂辉煌。乳酸菌研究课题很多，包括：①乳酸菌分类、鉴定；②乳酸菌构造与菌体成分；③乳酸菌营养与代谢；④乳酸菌遗传与育种；⑤乳

酸菌代谢产物（乳酸、细菌素、胞外多糖、维生素、氨基酸、风味物质）；⑥乳酸菌共生（发酵乳、发酵肉、发酵鱼、发酵蔬菜、发酵谷物、发酵饲料）；⑦人体中的乳酸菌生态，包括乳酸菌与人体相互作用；⑧肠道菌群组成及其功能的研究；⑨肠道代谢，包括对恶性肿瘤代谢机制的作用研究；⑩与免疫系统的关系，包括对卫生假说的研究；⑪活菌保存及包埋技术。

目前的研究表明：①特殊乳酸菌能在人体肠道中生存并对人体健康有益；②乳酸菌相关产品的作用取决于菌株特性和产品加工过程；③乳酸菌对人体健康的益处，可以通过真实可靠的科学数据给予评价。

为了能更好地研究并应用乳酸菌，我们需要对乳酸菌有比较全面的了解。乳酸菌发展简史如图 1-1 所示。



图 1-1 乳酸菌发展简史

1.1 乳酸菌的发现

探索乳酸菌的发现，就离不开对酸奶起源的研究。据说，早在4000多年前，在古巴比伦、古印度和古埃及等地区，就已经有饮用酸奶的历史。人们早就知道酸奶有益健康。传说佛祖出家，修行斋戒，天长日久，坚持禁食，体质虚弱，昏昏迷迷，失去知觉。这时，一位名叫难陀波罗的牧羊女，双手捧来一碗酸奶，让佛祖慢慢饮用，佛祖得以康复。

公元前2000多年，在古希腊东北部和保加利亚地区，古代色雷斯人已掌握了用羊奶制作酸奶的技术。后来，酸奶技术被古希腊人传到了欧洲的其他地方。犹太人的祖先亚伯拉罕，因常食“优格”（yoghourt）而健康长寿。古罗马皇帝和成吉思汗都命令士兵带着酸奶去打仗，用于防治疾病，保证健康，确保胜利。

另有一种说法，3000多年前，土耳其高原的古代游牧民族就会制作和饮用酸奶。最初制作酸奶，可能源于偶然的机。牧民发现，羊奶放久，时常变质，但有时变质羊奶酸甜可口。牧人不知其中的原因，但为了能继续得到酸奶，便把它加入到新鲜的奶中，存放一段时间，能获得同样的酸奶，可能这就是最早的酸奶。

约2500年前，佛教教典的经文写到：“大涅槃经犹如醍醐，最上最妙，若能服用，众病悉除，一切诸药悉入其中。”服用“醍醐”可以远离病菌。何为“醍醐”？醍醐就是“自乳中精制，提炼出来的一种味道浓厚的甜汁，亦指佛之最上经法”。“醍醐”从何处来？“从牛出乳，从乳出酪，从酪出生酥，从生酥出熟酥，从熟酥出醍醐。醍醐最上。”其意为：从牛挤出乳，除去脂肪制成酪，生酥即为生菌，置于酪中生长，成熟变酥，产生很多分泌物，这些分泌物就是“醍醐”。醍醐就是乳糜，现今所称的“优格”即为酸乳酪。

1500多年前，后魏农业科学家贾思勰在《齐民要术》中详细地描述了酸奶的做法：“牛羊皆得作，煎四五沸便止，以绢袋入瓦罐中，其酪暖如人体”，一旦成熟，“熟乳一升用香酪半勺，痛搅令散泻，明旦酪成。”古人不识细菌，但凭感观和经验制出酸乳品。乳的天然发酵，不仅给人们带来可口的酸奶，还在发酵过程中产生高蛋白固态凝乳。置盐于固态凝乳中便成为干酪，这就是干酪产品的雏形。

在近代，法兰西帝国的国王弗朗西斯一世经常饮用山羊奶制成的酸奶，从而摆脱了顽疾。

今天已经知道，远古时代的酸奶都是混合菌自然发酵的结果，前人经过几千年的探索，从无知到有知，在使用中逐渐发现和认识乳酸菌。

1.1.1 巴斯德发现乳酸菌

巴斯德（Louis Pasteur, 1822—1895），法国微生物学家、化学家，近代微生物学的奠基人。他开辟了微生物领域，一生进行了多项探索性的研究，取得了重大成果，是19世纪最有成就的科学家之一。

1822年12月27日，巴斯德出生于法国阿尔波依（Arbois）科塞斯河畔，一个制革工人家庭。1856年夏天，34岁的巴斯德在里尔城大学任教。里尔是一个工业发达经济繁荣的城市，许多人从事发酵酿酒业，但在制酒过程中，经常会发生一件怪事：本来芬芳醇的酒，会突然变酸，并带有酸牛奶的气味。酒店老板因此蒙受巨大损失。一个叫比戈的