



乳业科学与技术丛书

Dairy Science and Technology Series

发酵乳

Fermented Dairy Products

《乳业科学与技术》丛书编委会

乳业生物技术国家重点实验室

编



化学工业出版社



乳业科学与技术丛书

Dairy Science and Technology Series

发酵乳

Fermented Dairy Products

《乳业科学与技术》丛书编委会 编
乳业生物技术国家重点实验室



化学工业出版社

· 北京 ·

本书由乳业生物技术国家重点实验室、光明乳业研究院多年从事发酵乳科研和产品开发的专家、学者编写而成，全面介绍发酵乳科技的最新发展，涵盖内容广泛、深入，涉及发酵乳的健康功能、乳酸菌遗传学、发酵乳生产关键和新技术、规模化生产工艺、自动化控制、检测、产品开发等方面，反映了发酵乳行业科技水平的不断进步。本书结合了丰富的实践内容，阐述了发酵乳研究的突破性进展，具有新颖性和创造性。

本书可作为发酵乳加工行业科技人员、管理人员及有关高等院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

发酵乳/《乳业科学与技术》丛书编委会, 乳业生物技术国家重点实验室编. —北京: 化学工业出版社, 2015.10
(乳业科学与技术丛书)
ISBN 978-7-122-24163-4

I. ①发… II. ①乳…②乳… III. ①发酵乳饮料 IV. ①TS275.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 118415 号

责任编辑: 董琳
责任校对: 边涛

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 孙远博

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: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 24½ 字数 608 千字 2016 年 1 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

《发酵乳》编写人员

主 编：郭本恒 刘振民

副 主 编：徐致远 郑运荣 苗君莅

编写人员：郭本恒 刘振民 徐致远 郑远荣
 苗君莅 高红艳 王 豪 周方方
 韩 梅 焦晶凯

近年来,居民膳食结构的调整和消费者喜好的变化促进了乳制品结构的巨大改变,加速了乳品工业发展成为技术设备先进、产品品种较为齐全、初具规模的现代化食品制造业。2014年中国乳制品产量2651.8万吨,液体乳产量达到2400.1万吨。

牛乳是除母乳外营养最为均衡的全价食品,富含健康饮食所需的多种维生素和矿物质,很多研究已证实乳制品在骨骼健康、肠道调节、提高免疫力等方面具有明显作用。2014年我国人均乳品消费量已提高至约33 kg,仍与世界人均118 kg的饮用量相差甚远。随着中国城市化速度进一步加强,中国必将成为世界上乳制品消费最大的潜在市场,如今世界各大知名乳品企业纷纷落户中国,给国内乳品企业带来前所未有的机遇与挑战,迫使乳品企业和乳制品从业人员对乳品科学与技术进行更深入的探索和研究。我们曾于2004年出版了《现代乳品加工技术》丛书,经过十几年的发展,乳制品行业无论是技术还是科学研究都有了新的进步,非常有必要将国际科技发展的最新成果反映出来,所以修订或新编了《乳业科学与技术》丛书。

这套《乳业科学与技术》丛书包括《液态奶》、《发酵乳》、《乳粉》、《益生菌》、《乳品安全》五本,由乳业生物技术国家重点实验室、光明乳业研究院多年从事乳品科技的、有丰富经验的专家、学者编写而成。

《液态奶》全面系统地阐述了液态奶的基础理论和各种加工技术,反映了国内外乳品科学技术的最新进展。主要内容包括:乳的营养、液态奶产品分类、液态奶制品基本加工工艺和设备、液态奶制品加工中应用的高新技术、功能性液态奶制品、液态奶加工厂设计等,反映了当今液态奶制品的非热加工技术、胆固醇脱除技术等国际科技发展的最新成果,使读者能够较好地掌握液态奶产品加工的重点和难点。本书具有较强的理论性、综合性、科学性、创新性和实用性。

《发酵乳》主要介绍发酵乳科技的最新发展,涵盖内容广泛、深入,涉及发酵乳的健康功能、乳酸菌遗传学、发酵乳生产关键和新技术、规模化生产工艺、自动化控制、检测、产品开发等方面。发酵乳涵盖范围广,在世界范围内是重要的健康食品。我国酸奶科技、生产也发展迅速,尤其是生产量和消费量大幅增加,乳品企业推出高附加值产品的同时也带动了行业科技水平的不断进步。本书结合了丰富的实践内容,阐述了发酵乳生产的突破性进展,具有实用性和创造性。

《乳粉》结构体系完整,充分考虑目前行业热点和技术发展情况。随着生活水平的提高以及大家对营养和健康的重视,越来越多的粉状乳制品作为配料被广泛应用于普通食品、营养保健品、甚至特殊配方产品。国际、国内相关部门和组织针对婴幼儿配方食品制定多个相关法规和管理办法等。本书详细介绍粉状乳制品的分类、组成、生产设备、工艺、配方设计、营养研究、法规、工厂设计和管理、质量评价方法等内容,具有较强的理论性和实用性。

《益生菌》从益生菌的分类、鉴定、作用机理、生物活性代谢产物以及生物活性评价等方面对近二十年来的研究成果进行了总结,也纳入了研究团队近年来在上述领域部分的研究结果。近十年来,随着研究方法的提高和研究的深入,对益生菌的认识取得重大进展,尤其

是对益生菌健康促进作用的机理逐渐清晰。通过大量的动物实验和临床干预/治疗试验,获得了对益生菌更全面、客观的认识,益生菌对代谢综合征如高血脂、糖尿病、肥胖、肠易综合征(IBS)、炎性肠炎(IBD)等作用以及在改善和预防过敏方面的作用积累了大量的证据,对益生菌相关健康促进作用的作用机理和生物效应分子等进行了阐述,并从总体的角度阐述了益生菌与机体的行为、认知能力和心情的关系,提出了“脑-肠轴”的概念,从单一菌的作用发展到免疫、激素分泌、神经活动和心因性活动等多角度进行综合评价。本书同时也对该领域目前最新的研究方法和动态进行了介绍,并对部分益生菌的产业化应用作了概述。

《乳品安全》立足于乳品安全的最新发展态势,系统介绍影响乳品安全的主要危害因素及其目前最新的检测方法,深入客观地描述了引起乳品安全的各种难以避免和预知的因素,并针对每一因素列出现有的最有效的检测方法,简要介绍该方法的理论依据。根据不同乳品的生产工艺流程,深入全面剖析将来可能影响到乳品安全的因素并进行风险评估,做到未雨绸缪,防患于未然。本书详细叙述了各类乳制品的安全生产过程,在科学规范的质量管理和溯源体系的理论和方法的正确引导下,对乳品安全进行更加有效合理的控制,使乳品工业的发展走上可持续健康发展的轨道。

本丛书得到科技部“十二五”科技支撑项目(2012BAD12B08)、2013BAD18B01、2013BAD18B02)、科技部农转项目(2013GB2C000153)、上海市人才基金项目(201343)、上海市优秀技术带头人项目(14XD1420300、15XD1520300)、乳业生物技术国家重点实验室、光明乳业股份有限公司资助出版。

本书编写过程中查阅了大量的国内外书籍和文献,理论和实践并重,希望可以帮助乳品研究人员、教师、学生和生产工作者详细了解和系统学习乳品相关的知识、生产技术、质量管理及相关法规,同时希望有助于中国乳制品行业的健康持续发展。

在此,衷心感谢为本书写作付出大量心血和汗水的朋友和同事们。限于编者的水平和能力,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编委会

2015年8月

第一章 绪论	1
第一节 发酵乳概述	1
一、发酵乳的起源和发展简况	1
二、发酵乳的分类	2
三、发酵乳的生产	5
第二节 酸奶的营养价值	8
一、糖类	9
二、蛋白质	12
三、脂肪	14
四、维生素和矿物质	16
第三节 酸奶的健康作用	17
一、普通酸奶的医疗作用	18
二、益生菌酸奶的保健作用	21
参考文献	24
第二章 发酵乳微生物	26
第一节 常见微生物	26
一、乳酸菌	26
二、酵母菌	33
三、霉菌	36
四、腐败菌和致病菌	36
第二节 发酵剂	40
一、发酵剂筛选	40
二、发酵剂分类	42
三、发酵剂工业化	44
四、发酵剂问题及解决	47
第三节 分子遗传学	49
一、乳酸菌后基因组学时代	49
二、发酵剂微生物的改良	56
参考文献	62
第三章 乳发酵过程的生化变化	65
第一节 糖类代谢	65
一、同型发酵	66
二、异型发酵	67
三、LAB 中糖代谢的控制	68
四、酵母发酵的代谢途径	69
五、胞外多糖	70
第二节 蛋白质水解和氨基酸代谢	77

一、乳蛋白的分子组成	78
二、蛋白酶	78
三、肽和氨基酸吸收系统	79
四、氨基酸代谢和风味形成	79
第三节 脂质代谢	81
一、游离脂肪酸和酯化脂肪酸的变化	83
二、挥发性脂肪酸的变化	83
第四节 维生素代谢	85
一、核黄素	86
二、叶酸	87
三、维生素 B ₁₂	88
四、尼克酸的生物合成	89
五、维生素 B ₆ 的生物合成	89
第五节 柠檬酸代谢和风味物质的形成	90
一、柠檬酸转运	91
二、柠檬酸向丙酮酸的转化	92
三、丙酮酸向风味化合物的转化	92
四、柠檬酸代谢的生物能学	93
第六节 功能基因组学和代谢	94
第七节 发酵过程产生的天然防腐成分	94
一、蛋白质类	94
二、有机酸	99
三、过氧化氢	100
四、罗氏菌素	100
五、羟基脂肪酸	100
六、二氧化碳	101
七、双乙酰	101
八、酚类化合物	101
九、LAB 对真菌毒素的抑制	101
参考文献	102
第四章 发酵乳的微观结构	107
第一节 微观结构的检测方法	107
一、扫描电镜技术	107
二、共聚焦扫描显微镜技术	107
三、透射电子显微镜技术	108
第二节 发酵乳制品的微观结构	109
一、乳酸发酵乳制品	110
二、乳酸菌-酵母发酵乳制品	110
三、乳酸菌-霉菌发酵乳制品	111
第三节 发酵乳制品微观结构的影响因素	112
一、乳基对发酵乳制品微观结构的影响	112

二、发酵剂对发酵乳制品微观结构的影响	116
三、加工工艺对发酵乳制品微观结构的影响	118
参考文献	122
第五章 发酵乳质构的影响因素	124
第一节 概述	124
一、感观分析	124
二、结构仪器分析	124
三、流变仪器分析	125
第二节 底物	125
一、总干物质	125
二、蛋白质	129
三、脂肪	132
四、糖	133
五、增稠剂	133
六、酶解处理	134
第三节 发酵剂	135
一、酸化及质构发酵剂	135
二、发酵剂对酸奶质构的影响	135
三、胞外多糖对酸奶质构的影响	139
四、接种条件对酸奶质构的影响	139
第四节 加工工艺	139
一、热处理	139
二、均质	145
三、高压处理	147
四、酸奶培养温度	147
五、酸奶 pH	148
六、酸奶搅拌剪切	148
七、酸奶储存	149
参考文献	150
第六章 嗜热性乳酸菌发酵乳	153
第一节 概述	153
一、酸奶发展历程	153
二、酸奶的分类	154
第二节 酸奶的生产工艺	157
一、原料乳验收	157
二、标准化	158
三、配料	162
四、均质	164
五、杀菌	166
六、发酵	168
七、灌装	173

八、产品检验	176
九、其他工艺	176
第三节 以酸奶为基料的衍生产品	179
一、乳酸菌饮料	179
二、冷冻酸奶	180
三、酸奶粉	183
四、功能性酸奶	185
参考文献	190
第七章 嗜温性乳酸菌发酵乳	192
第一节 发酵稀奶油	195
一、简介	195
二、加工工艺	197
三、质量缺陷与控制	199
四、其他发酵稀奶油产品	200
五、发酵稀奶油的应用	201
第二节 发酵酪乳	201
一、简介	201
二、加工工艺	204
三、工艺改进	206
四、质量缺陷与控制	206
五、其他发酵酪乳产品	208
第三节 其他嗜温性乳酸菌发酵乳	208
一、朗菲/泰慕克	208
二、菲慕克/斯慕克	209
三、伊米尔	210
四、斯科尔	211
第四节 未来发展	211
参考文献	212
第八章 酵母-乳酸发酵乳	215
第一节 开菲尔	215
一、开菲尔的历史背景	215
二、开菲尔粒	215
三、开菲尔中的典型成分	216
四、开菲尔发酵/储藏过程中的生物化学变化	222
五、开菲尔的感官特性	224
六、开菲尔的益生作用	226
七、开菲尔的生产工艺	230
八、开菲尔的其他应用	233
第二节 库密斯	234
一、库密斯的历史背景	234
二、库密斯的感官及理化特征	234

三、库密斯中的微生物	236
四、库密斯的营养价值及益生作用	236
五、库密斯的生产工艺	237
第三节 其他酵母-乳酸菌发酵乳	239
一、嗜酸性酵母乳	239
二、可尔必思™	240
三、格瑞斯	240
四、库劳特	240
参考文献	241
第九章 其他类型发酵乳	243
第一节 维利	243
一、维利中的微生物	243
二、维利的感官特征	244
三、维利的生产工艺	244
四、维利的益生功能	245
第二节 地域性发酵乳	245
一、亚洲地区发酵乳	245
二、东欧地区发酵乳	248
三、中东地区发酵乳	248
参考文献	250
第十章 酸奶生产过程中的质量与安全控制	251
第一节 质量管理体系概述	251
一、HACCP 概述	251
二、其他一些质量管理体系	254
第二节 生产设备及环境的质量监控	256
一、设备的清洗	257
二、设备的消毒与杀菌	269
三、噬菌体污染的防治	272
四、车间的卫生控制	276
五、污水处理	283
第三节 原辅料的质量监控	284
一、生乳	284
二、乳粉	288
三、发酵剂	289
四、配方中各原料对发酵乳质量的影响	294
五、原辅料的储存要求	296
第四节 发酵乳终产品的质量监控	297
一、酸奶的典型检测指标	298
二、感官指标的评价	298
三、物理特性的评价	303
四、理化指标的检测	305

五、微生物的检测	307
六、不合格原料及产品的处理方法	311
参考文献	313
第十一章 酸奶生产设备与工厂设计	315
第一节 酸奶生产设备	315
一、混料设备	315
二、均质机	318
三、离心机	323
四、热传递设备	326
五、罐	337
六、菌种添加设备	339
七、泵	341
八、阀门	348
九、管道	356
十、果酱、香精添加设备	357
十一、包装机械设备	359
第二节 酸奶工厂设计	367
一、工厂设计原则	367
二、工厂的选址	368
三、厂区环境	369
四、发酵乳制品车间的布置	372
五、自动化控制	373
参考文献	379

第一章 绪 论

人类运用发酵技术将牛乳转变为具有一定货架期的产品，尽管很难知道发酵乳制品的确切起源，但据史料记载，10000~15000 年前，人类就已经从食物收集转变为食品生产了。

第一节 发酵乳概述

一、发酵乳的起源和发展简况

自远古时代的人类学会驯养动物伊始，发酵乳便逐渐成为世界上许多地区常规膳食中的重要组成部分。最新考古证据显示，美索不达米亚地区的苏美尔人和巴比伦人、非洲东北部的法罗斯人及印度次大陆的雅利安人在很早以前就有制作和食用发酵乳的习惯。5000 年前的印度经文中提到了“dadhi”（即当今的达希），记载了其增进健康及抵抗疾病的作用。某些独具特征的传统发酵乳的起源详见表 1-1。

表 1-1 某些独具特征的传统发酵乳的起源

产品名称	起源地	诞生时间	产品特点
阿依兰(Airan)	中亚	公元 1253 年~公元 1255 年	德氏乳杆菌保加利亚亚种发酵,口感清爽
保加利亚乳 (Bulgarian milk)	保加利亚	公元 500 年	德氏乳杆菌保加利亚亚种发酵,口感尖酸
达希(Dahi)	印度	公元前 800 年~公元前 300 年	使用先前保存的产品作为发酵剂发酵
开菲尔(Kefir)	高加索地区	—	使用含乳酸菌和酵母菌的开菲尔粒发酵;产品含有乳酸、乙醇和二氧化碳,有独特的起泡感和杀口感
柯西克(Kishk)	阿拉伯地区	—	混合熟燕麦发酵并经干燥而成
库密斯(Koumiss)	中亚	公元前 400 年	使用乳酸菌和酵母菌发酵马乳,产品含有乳酸、乙醇和二氧化碳,有独特的起泡感和杀口感
拉本(Laban)	埃及	公元前 5000 年~公元前 3000 年	在陶具中发酵凝乳而成
泰慕克(Tätmjölkk)/ 朗菲(Langfil)	瑞典	—	使用产黏的乳球菌发酵
勒本(Leben)	伊拉克	公元前 3000 年	发酵后使用布袋滤除乳清
玛斯特(Mast)	伊朗	—	产品有蒸煮味
斯科尔(Skyr)	冰岛	公元 870 年	使用发酵剂和凝乳酶发酵绵羊乳而成
泰特(Taette)	挪威	—	有较高的黏稠性
特拉哈纳(Trahana)	希腊	—	发酵后干燥而成
维利(Viili)	芬兰	—	有较高的黏稠性,使用乳酸菌和霉菌发酵
伊米尔(Ymer)	丹麦	—	使用明串珠菌和乳球菌发酵,产品的蛋白质含量较高

据考证,酸奶已有四千多年的历史。虽然对于酸奶的起源没有确切的记录,但在某些地区,人们早就已经知道它的营养价值及对身体健康的重要作用。传说佛祖在斋戒冥思时,由于禁食较久,渐渐失去知觉,在这危急时刻,一位妇人给了佛祖一碗酸奶,使他恢复了知觉。所以,佛经中认为酸奶是最有价值的食品。另外,酸奶在圣经和古兰经中都有记载。据波斯人传说,亚伯拉罕把自己的健康和长寿归功于酸奶。古罗马皇帝和成吉思汗都曾经命令他们的士兵携带酸奶以保证士兵的身体健康,防止疾病,确保战争的胜利。在近代,据说法兰西帝国的国王弗朗西斯一世通过饮用山羊奶制成的酸奶而治愈了他的体弱病。

在公元前 200 年,印度、埃及和古希腊人等已掌握了酸奶的手工制作方法,在我国古代《齐民要术》中也有如何制造酸奶的记载。古代人制作酸奶是靠天然发酵。

保加利亚人是最早食用酸奶的民族之一,因此,酸奶的起源很可能是在中东地区。很久以前,生活在保加利亚的色雷斯人过着游牧生活,他们身上常常背着灌满了羊奶的皮囊,带着羊群在大草原上放牧。由于外部的气温,加上人的体温等的作用,皮囊中的羊奶常常变酸,而且变成渣状。当 they 要喝时,常把皮囊中的奶倒入煮过的奶中,煮过的奶也会变酸,这就是最早的酸奶。随着时光的流逝,色雷斯人烹调技术的提高带动了发酵乳制品的发展。

20 世纪初期,俄国科学家伊·缅奇尼科夫专门研究人类长寿问题,他在对保加利亚人的调查中,发现每千名死者中有四名是百岁以上去世的,这些高龄人生前都爱喝酸奶,故其断定这些人的长寿是喝酸奶的结果。缅奇尼科夫对色雷斯人喝的酸奶进行化验后发现,酸奶中有一种能有效抑制肠道腐败菌的杆菌,将它命名为“保加利亚乳酸杆菌”。这一消息被西班牙商人伊萨克·卡拉索得知,他便立即开了一家制作酸奶的工厂。他开始时只不过将酸奶当作药品在药房出售,生意并不理想。第二次世界大战后,伊萨克·卡拉索又到美国建立了一家酸奶工厂,美国人很喜欢喝这种营养价值高的酸奶,不久酸奶便风靡世界。

随着科技的进步,酸奶已由纯种微生物菌种进行发酵,这样就保证了酸奶的质量。酸奶的流行是近 30~40 年的事,这是因为制作酸奶的技术和酸奶品种的发展及人们对其健康作用认识的结果。

二、发酵乳的分类

在世界上,传统的和工业化的发酵乳制品的名称种类有四百多种。虽然产品名称不同,但实际上它们是相同的,只是在一小部分产品中存在某些细微的变化。考虑到产品中使用牛乳的种类以及赋予产品风味和主要代谢产物的微生物种类的不同,Robinson 和 Tamime 为发酵乳提出了一个分类方案,基于不同的代谢产物,将它们大致分为:乳酸发酵、酵母-乳酸发酵、霉菌-乳酸发酵。

酸乳和酪乳由于是纯乳酸发酵,因此被归入第一组。按照生长最适温度,乳酸菌大致分为两类:嗜温菌和嗜热菌。嗜温菌的最适温度为 20~30℃,嗜热菌的最适温度为 30~45℃。发酵乳的分类见表 1-2。

由于气候原因,亚热带国家的传统发酵乳制品主要以嗜热乳酸菌发酵;而斯堪的纳维亚半岛(北欧地区)主要以嗜温乳酸菌发酵。斯堪的纳维亚半岛位于欧洲北部,接近北极圈,夏季非常短,全年温度较低。这种气候很适合嗜温乳酸菌的生长,所以嗜温乳酸菌发酵乳在该地区有着悠久的历史,可以追溯到维京人(Vikings)时代。嗜温乳酸菌发酵乳是居民最喜爱的乳制品之一。1988 年,Lasson 定义了北欧三个不同地区的嗜温性乳酸菌发酵乳:Tätmjölök、Skyr 和 Sour milk。Tätmjölök 分布在芬兰的南部和西部地区、瑞典的北部以及挪

威大部分地区。Skyr 在维京人定居冰岛的时候，北欧地区就已存在。Sour milk 分布在冰岛、丹麦和挪威南部以及瑞典的其他地区。此外，随着乳品工业的发展以及科学研究的开展，酪乳，尤其是发酵酪乳的营养价值逐步被重视，之前酪乳的质量完全依赖奶油生产工艺的状况也被改变。斯塔的纳维亚居民食用发酵乳的量平均每人每天超过 100g，消费量是欧洲其他地区的 2 倍。在芬兰和瑞典，这类发酵乳的消费量约占乳制品总消费量的 50%。

表 1-2 发酵乳分类	
发酵类型	产 品
嗜温型乳酸菌发酵 (Mesophilic lactic fermentation)	发酵稀奶油(cultured cream) 发酵酪乳(cultured buttermilk) 泰慕克(Tätmjölk)/朗非(Langfil) 菲慕克(Filmjölk)/Surmjölk 伊米尔(Ymer) 斯科尔(Skyr)
嗜热型乳酸菌发酵 (Thermophilic lactic fermentation)	酸奶(Yogurt)
乳酸菌和霉菌 (Lactic fermentation/mold ripening)	维利(Viili)
乳酸菌和酵母菌 (Lactic/Yeast fermentation)	开菲尔(Kefir) 库密斯(Koumiss)

酵母-乳酸发酵的产品中较为典型的代表是开菲尔、库密斯和嗜酸型酵母乳（Kurmman 等，1992）。

酵母-乳酸发酵的产品中除含有乳酸外，发酵过程中还会产生二氧化碳、乙醇和其他特征性风味物质，因此，此类产品也被定义为含酒精型乳制品。酵母-乳酸发酵的产品中微生物复杂多变，这取决于发酵剂的来源、微生物的生长条件、产品的加工过程及所使用原料乳的品种。酵母-乳酸发酵的乳制品起源于高加索山区和蒙古之间的中亚地区，在很多国家都十分流行（如俄罗斯、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、保加利亚和部分北欧国家）。

维利是一种起源于芬兰的传统发酵乳制品，属于霉菌-酵母发酵。据记载，北欧地区在夏季经常会出现牛乳过剩的现象，为避免牛乳浪费，当地民众会采用发酵来延长牛乳的储藏期，所获得的发酵乳便是早期的维利。

乳是微生物最为常见的栖身场所，在适当的温度和时间条件下可引发乳的自然酸化。存在于大千世界中不同来源的微生物塑造出了多样化的发酵乳，发酵乳所具备的特征风味和质构与微生物息息相关。表 1-3 列出了部分发酵乳及其典型的发酵菌种。

表 1-3 部分发酵乳及其典型发酵菌种	
产 品	发 酵 菌 种
保加利亚乳	德氏乳杆菌保加利亚亚种(<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>)
发酵酪乳	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetylactis</i>)、肠膜明串珠菌乳脂亚种(<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ssp. <i>cremoris</i>)
发酵稀奶油	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetylactis</i>)、肠膜明串珠菌乳脂亚种(<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ssp. <i>cremoris</i>)

续表

产 品	发 酵 菌 种
达希(Dahi)	德氏乳杆菌保加利亚亚种(<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>)、嗜热链球菌(<i>Streptococcus thermophilus</i>)或乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetyl-lactis</i>)、肠膜明串珠菌乳脂亚种(<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ssp. <i>cremoris</i>)
菲慕克	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetyl-lactis</i>)
开菲尔	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetyl-lactis</i>)、肠膜明串珠菌葡聚糖亚种(<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ssp. <i>dextranicum</i>)、嗜热链球菌(<i>Streptococcus thermophilus</i>)、德氏乳杆菌保加利亚亚种(<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>)、嗜酸乳杆菌(<i>Lactobacillus acidophilus</i>)、瑞士乳杆菌(<i>Lactobacillus helveticus</i>)、高加索酸奶乳杆菌(<i>Lactobacillus kefir</i>)、醋酸菌(<i>Acetobacter</i>)、马乳酒样乳杆菌(<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i>)、马克思克鲁维酵母(<i>Kluyveromyces marxianus</i>)、单孢酵母(<i>Saccharomyces unisporus</i>)、酿酒酵母(<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)、少孢酵母(<i>Saccharomyces exiguus</i>)
库密斯	嗜酸乳杆菌(<i>Lactobacillus acidophilus</i>)、德氏乳杆菌保加利亚亚种(<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>)、乳酸酵母(<i>Saccharomyces lactis</i>)、圆酵母(<i>Torula</i>)
泰慕克	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetyl-lactis</i>)
维利	乳酸乳球菌乳酸亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>)、乳酸乳球菌乳脂亚种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>)、乳酸乳球菌乳亚种双乙酰变种(<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetyl-lactis</i>)、白地霉(<i>Geotrichum candidum</i>)

不同来源的动物乳经发酵后，原有的营养价值不仅得到了保留，同时还能防止其在热带地区（如南亚和中东）的高温环境下快速腐败，从而延长食品的储藏时间。在乳转化为发酵乳的过程中，伴随有黏稠度的增加，并形成爽滑的质构和明显的发酵风味。发酵技术赋予了食品安全性，提高了食品的可携带性，并带给消费者与众不同的新鲜感。发酵乳的差异不仅反映出产品的地理区域特色，同时也揭示了所使用的乳的来源、工艺技术等级及发酵的环境条件和微生物种群。在长期饮用发酵乳的地区有着源远流长的饮食文化和生活习俗。

开菲尔是一种古老的发酵乳制品，所使用的发酵菌种和工艺技术已传承了数个世纪。开菲尔中，乳酸菌同酵母菌协同发酵，赋予产品独特的酒香味和爽快的酸感。根据 Kosikowski 和 Mistry 的报道，开菲尔可选择的原料乳分为山羊乳、绵羊乳或牛乳。乳酸含量通常在 0.8% 左右，乙醇含量约为 1.0%，二氧化碳则是另一种开菲尔的主要发酵副产物。在俄罗斯和欧美国家，开菲尔的现代化生产已较为成熟，涉及发酵的微生物菌群复杂多样。

库密斯是另一种含有乙醇的发酵乳制品，具有一定的营养价值和健康功效。传统的库密斯使用马乳发酵，乳白色中带有淡淡的浅灰色。虽然多数发酵乳在发酵过程中会形成不同稠度的凝乳，但库密斯在发酵结束后仍保持液体状态。这是由于马乳的蛋白质组成较为特殊，当酸度增加或添加凝乳酶时均不会形成凝乳。有鉴于马乳在酪蛋白等电点无法形成凝乳的特性，库密斯不适于制作成凝固型产品。库密斯中含有 0.7%~1.8% 乳酸及 1.0%~2.5% 乙醇。在蒙古和中国西部省份，将库密斯或类似库密斯的产品叫做“airag”、“arrag”、

“chige”或“chigo”。

在北欧国家,尤其是在芬兰,有一种叫做维利的产品广受消费者的青睐,此款产品也被称为“pitkapiima”、“piima”或“fiili”。该款产品的特征在于其独特的拉丝、黏稠状质构,当挖取表面凝乳时,所舀取的凝乳会黏附于勺子上,并形成一串细长的丝状物。维利的发酵剂中含有一类特殊的产黏乳球菌,产品的黏稠性来源于其产生的胞外多糖。传统的维利在其表层还有薄薄的一层绒毛状霉菌,这种霉菌通常是白地霉,可赋予产品独特的风味。此外,由于白地霉可代谢由乳球菌分泌的乳酸,因此,在霉菌层下方的产品酸度较低。

达希是一种流行于印度的半固体状发酵乳制品,在印度次大陆的不同地方所制备的达希的风味口感有细微的差异。达希一般采用牛乳发酵,但也可使用牛乳同水牛乳共发酵,甚至在某些地区完全采用水牛乳发酵。水牛乳固形物含量较高,制作出的达希质构厚实,而牛乳制得的达希组织结构则较软。印度本地人更倾向于使用水牛乳生产达希,这是由于高固形物含量的水牛乳可制备出酸度较高的产品,符合当地人群的口感偏好。达希中的微生物菌群通常由乳球菌、明串珠菌及酵母菌组成,但部分科学家认为酵母菌是一类污染菌,可能是在家庭或小型作坊生产期间通过长期的连续翻代生产带入的,其中“翻代”是指采用先前制备好的发酵产品的残留物接种至新鲜批次的培养物中的一种发酵过程。

斯科尔是一种起源于冰岛的发酵乳制品,如今已传至丹麦等北欧国家。该产品是酸奶的衍生品,可以被认为是一种浓缩型的发酵乳。斯科尔中的发酵菌群通常由乳酸菌组成。在生产过程中,斯科尔使用脱脂乳发酵,发酵后通过排除乳清来提高凝乳的稠厚度,固形物含量增至18%~20%,同时,酸度也会由最初的1.4%~1.6%增至2.5%~3.0%。

除上述产品外,还有其他仅局限于特定地区的发酵乳制品。例如保加利亚乳起源于保加利亚,该产品被认为是当代酸奶的前身。保加利亚乳单独使用德氏乳杆菌保加利亚亚种进行发酵,据说德氏乳杆菌保加利亚亚种的命名就是由于这种杆菌是首次从保加利亚乳中分离得到的。保加利亚乳的酸度较高,且伴有清新的乙醛风味。

三、发酵乳的生产

发酵乳以其多样化的风味、质构、口感和营养诉求,提供给消费者差异化的选择。发酵乳及其衍生品不但可作为消费者的主食或配餐,还可当作小吃、饮料、甜点或烹饪时所需的调味料、涂抹酱来使用。

发酵乳的多样性可归因于以下四点:所使用的原料乳品种繁多;所使用的发酵剂中的微生物菌群复杂多样;所使用的辅料众多,如蔗糖、香料、水果、坚果和营养强化剂等;所使用的加工保藏方法多样化,如冷冻、浓缩和干燥。

发酵乳,尤其是酸奶,在世界上已被广泛消费,其影响因素如下:牛奶来源广泛;饮食习惯;收入水平;广告;市场品种丰富;配送体系便利;宗教信仰等。目前,很多酸奶的生产方法均已被广泛运用。酸奶分类的依据有如下四个方面:法规标准,依据化学成分或脂的含量(全脂、中脂、低脂);酸奶的自然属性(凝固型、搅拌型、饮料型);风味(原味、水果味或其他风味);发酵后处理(添加维生素或热处理等)。表1-4列出可发酵乳品的生产分布情况。