



普通高等教育“十二五”规划教材



乳品与饮料工艺学

Dairy and Beverage Technology

尤玉如 主编 肖功年 黄焘 副主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

普通高等教育“十二五”规划教材

乳品与饮料工艺学

主 编 尤玉如

副主编 肖功年 黄焘



 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

乳品与饮料工艺学/尤玉如主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2014. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5019-9598-1

I. ①乳… II. ①尤… III. ①乳制品—食品加工—高等学校—教材②饮料—食品加工—高等学校—教材 IV. ①TS252②TS275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 307652 号

责任编辑:伊双双

策划编辑:伊双双 责任终审:唐是雯 封面设计:锋尚设计

版式设计:王超男 责任校对:吴大鹏 责任监印:张可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:北京君升印刷有限公司

经销:各地新华书店

版次:2014年3月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:23.25

字数:531千字

书号:ISBN 978-7-5019-9598-1 定价:46.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网址:<http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

130824J1X101ZBW

本书编委会

主 编 尤玉如

副主编 肖功年 黄焘

编 者(按姓氏笔画排序)

尤玉如 (浙江科技学院)

占东升 (浙江熊猫乳业集团有限公司)

关荣发 (中国计量学院)

刘士旺 (浙江科技学院)

吕建敏 (浙江中医药大学)

何光华 (浙江贝因美科工贸股份有限公司)

吴元锋 (浙江科技学院)

李言郡 (杭州娃哈哈集团有限公司)

肖功年 (浙江科技学院)

肖海龙 (杭州市质量技术监督检测院)

金建昌 (浙江树人大学)

林文珍 (浙江熊猫乳业集团有限公司)

胡亚芹 (浙江大学)

赵广生 (新希望杭州双峰乳业有限公司)

袁海娜 (浙江科技学院)

黄 焘 (浙江贝因美科工贸股份有限公司)

黄 强 (浙江贝因美科工贸股份有限公司)

储小军 (浙江贝因美科工贸股份有限公司)

魏培莲 (浙江科技学院)

前言

一、学习目的和意义

乳制品加工历史悠久，早在 6000 年前，埃及人就有一种称为“Leben”的酸性很强的乳饮料，8 世纪土耳其人就会制作酸乳（Yoghurt）。我国 2000 多年前《史记》也有关于“奶子酒”生产的记载。近年来我国乳与乳制品发展迅速，已成为消费大国，但与发达国家相比仍有较大差距。2012 年全球人均消费乳约 107kg/年，我国人均消费乳 29.4kg/年，只有全球人均水平的 27.5%，且分布和消费极不均匀，尤其是农村和西部地区年人均消费乳更低，因而我国乳业发展的空间巨大。然而从“三聚氰胺”到“婴儿结石”问题的发生，中国乳业特别是婴幼儿乳品产业进入艰难时期。究其原因产业链上任何一环都难辞其咎，只管自己利益最大化，造假频出，造成整个产业“同输”局面。为此国务院十分重视乳制品安全，专门出台了国务院令 536 号《乳品质量监督管理条例》，并重新修订了《乳制品生产许可证审查细则》（QS），提高了乳制品生产和食品安全的门槛。

饮料原本以补充人体水分为主要目的，通常指非酒精或软饮料，开始并无加工产品，但随着人类出行和交往增多，便携、安全需求也增加。因此从 1772 年英国人发明了生产设备起，饮料工业化的发展即进入快轨道。尤其是 1896 年美国研制出世界上第一瓶可口可乐饮料，创造了至今百年不衰的世界神话。此后的发展更加快速，至今已有碳酸饮料、果蔬汁、蛋白饮料、固体饮料和茶饮料等诸多产品。我国饮料是近几十年来才得以快速发展，1995 年我国软饮料总产量仅为 600 万 t，到 2012 年已达 1.3 亿 t，且产品种类也已与世界同步。

乳品与饮料的迅猛发展为从事该行业的专业技术人员和相关大专院校学生提供了极好的机会，如何能从理论和实际都学习最新知识，并有助于成为有用人才，本教材提供了非常有意义和必要的帮助。

乳品与饮料属于食品科学与工程专业的两个门类，两者无论是加工工艺、生产设备，还是产品包装形式均十分相近，只不过具体工艺参数和最后产品表现形式不同而已。通过本教材的学习，既可熟知乳品工艺，又可了解饮料生产加工规范；既学到专业基本理论，又开阔了视野，扩大了知识面，为今后更好地工作打下良好的基础。

二、《乳品与饮料工艺学》的特点、内容和学习要求

《乳品与饮料工艺学》是物理、化学、生物学、微生物学和化工原理等基础知识的综合应用，是研究乳品和饮料产品性质、加工技术以及质量控制的一门技术性较强的专业课程。本教材将乳品与饮料结合，乳品主要介绍乳的性质，以及巴氏杀菌乳、灭菌乳、酸乳、乳粉、冰淇淋、炼乳、干酪和奶油等加工技术的基本知识；饮料则引入了饮料的基本概念、果汁和蔬菜汁饮料、碳酸饮料、含乳饮料和其他饮料的加工工艺等内容。全书内容

注重理论联系实际,使学习者既掌握乳品与饮料的加工技术,又培养了解决实际问题的能力,从而达到一定的专业技能和素养。总目标是培养学习者适应新时期乳品与饮料工业发展的需要,扎实掌握乳品与饮料学科知识、加工技术、工艺要点,为乳品与饮料工业的发展提供实用技术人才。

本教材由生物学、微生物学、食品化学、食品加工和质量管理等相关领域的专家和学者,还有国内大型企业资深工程师参与编写,特点是理论性和实用性强,结合紧密。适合作为农业、食品科学与工程、食品安全与质量等相关专业的本科生、研究生的教学用书。教材中引入了具体工艺方法和参数,也可供从事乳品和饮料研发、生产、加工、质量管理以及贸易的人员参考。

全书由浙江科技学院、浙江大学、浙江中医药大学、中国计量学院、浙江树人大学、杭州市质量技术监督检测院等高校院所和杭州娃哈哈集团有限公司、浙江贝因美科工贸股份有限公司、杭州新希望双峰乳业有限公司、浙江熊猫乳业集团有限公司等单位联合编写。全书分为两篇十二章,其中,第一篇第一章由关荣发、吕建敏编写;第二章由袁海娜、尤玉如、黄焘编写;第三章由袁海娜、赵广生编写;第四章由何光华、肖功年、黄焘编写;第五章由占东升、魏培莲、林文珍编写;第六章由金建昌、储小军编写;第七章由胡亚芹、黄强、尤玉如编写;第二篇第一章由肖功年、尤玉如编写;第二章由李言郡、尤玉如编写;第三章由肖功年、刘士旺编写;第四章由吴元锋、黄强编写;第五章由肖海龙、刘士旺编写。全书由尤玉如教授统稿。

乳品及饮料加工涉及面广,内容和要求变化快,加之编写人员能力有限,书中难免会有疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 乳 品

第一章 原料乳的成分与性质	1
第一节 原料乳的组成与影响因素	1
第二节 牛乳的物理性质	4
第三节 牛乳的化学成分和性质	9
第四节 牛乳中的微生物	20
第五节 异常乳	28
第六节 热处理对牛乳的影响	31
第七节 牛乳的感官评价	34
思考题	44
参考文献	44
第二章 液体乳	46
第一节 液体乳的分类	46
第二节 原料乳验收和预处理	49
第三节 巴氏杀菌乳	61
第四节 ESL 乳	71
第五节 灭菌乳	73
第六节 包装形式和材料	81
第七节 合理饮用牛乳的建议	85
思考题	85
参考文献	86
第三章 酸乳	87
第一节 概述	87
第二节 发酵剂	89
第三节 酸乳生产工艺	98
第四节 酸乳的风味物质	104
第五节 酸乳的包装形式	105
思考题	107
参考文献	108

第四章 乳粉	109
第一节 概述	109
第二节 乳粉生产工艺	114
第三节 速溶乳粉生产工艺	131
第四节 婴幼儿配方乳粉	136
第五节 乳粉质量控制	143
第六节 乳粉包装	148
思考题	154
参考文献	154
第五章 炼乳	156
第一节 概述	156
第二节 加糖炼乳	157
第三节 淡炼乳	170
第四节 调制炼乳	176
第五节 炼乳包装形式	180
思考题	182
参考文献	182
第六章 冰淇淋	183
第一节 概述	183
第二节 冰淇淋生产主要原料	185
第三节 冰淇淋生产工艺	189
第四节 冰淇淋质量标准及控制	198
第五节 冰淇淋包装	203
思考题	205
参考文献	205
第七章 奶油和干酪	206
第一节 奶油	206
第二节 干酪	213
思考题	228
参考文献	228

第二篇 饮 料

第一章 概述	229
第一节 定义和分类	229
第二节 饮料用水处理	232
第三节 饮料加工配料与食品添加剂	240

第四节 包装容器和材料·····	246
思考题·····	250
参考文献·····	250
第二章 碳酸饮料·····	251
第一节 概述·····	251
第二节 碳酸饮料生产工艺·····	253
第三节 调味糖浆制备·····	255
第四节 调和与碳酸化·····	265
第五节 灌装生产线·····	275
思考题·····	287
参考文献·····	287
第三章 果汁和蔬菜汁饮料 ·····	289
第一节 概述·····	289
第二节 果汁饮料一般生产工艺·····	291
第三节 典型果汁生产工艺·····	306
第四节 蔬菜汁生产工艺·····	310
思考题·····	315
参考文献·····	315
第四章 含乳饮料·····	317
第一节 概述·····	317
第二节 配制型含乳饮料·····	318
第三节 发酵型含乳饮料·····	325
第四节 含乳饮料的稳定性·····	331
思考题·····	334
参考文献·····	334
第五章 其他软饮料 ·····	336
第一节 植物蛋白饮料·····	336
第二节 包装饮用水·····	341
第三节 茶饮料·····	347
第四节 固体饮料·····	354
第五节 特殊用途饮料·····	357
思考题·····	359
参考文献·····	360

第一篇 乳 品

第一章 原料乳的成分与性质

第一节 原料乳的组成与影响因素

一、原料乳的基本组成

哺乳动物为其初生后代直接喂哺的主食，称之为乳（我国南方称为奶）。目前人类直接食用乳的种类主要有人乳、牛乳（奶牛、水牛、牦牛）、羊乳和马乳等。

牛乳是牛乳腺分泌的一种白色或稍带黄色具有胶体特性的生物学液体，是多种成分的混合物。乳的组成包括水分和乳固体，乳固体又由脂质类和非脂乳固体（solid non fat, SNF）组成，非脂乳固体则由蛋白质、乳糖、矿物质（或称灰分）、维生素和酶类等组成（表 1-1-1）。乳品工业中，将未经任何处理加工的生鲜牛乳称为原料牛乳，简称原料乳。

表 1-1-1		牛乳主要化学成分及其含量变化范围				单位:%	
成分	水分	总乳固体	脂肪	蛋白质	乳糖	灰分	
变化范围	85.5 ~ 89.5	10.5 ~ 14.5	2.5 ~ 6.0	2.9 ~ 5.0	3.6 ~ 5.5	0.6 ~ 0.9	
平均值	88	12.0	3.5	3.1	4.7	0.7	

现在世界上奶牛品种有数百个之多，其中荷兰荷斯坦牛占绝大多数，另外西门塔尔牛、更赛牛、娟姗牛、水牛和牦牛，以及中国草原红牛、爱尔夏牛和瑞士褐牛等也是各国采用较多的品种。尤其是水牛，虽数量少，产乳率低，但因其成分组成和具有特色的营养成分而越来越受关注。正常牛乳中各种成分组成大体上是稳定的，但也受奶牛品种、个体、地区、泌乳期、畜龄、挤乳方法、饲料、季节、环境、温度及健康状态等因素的影响而有差异，其中变化最大的是乳脂肪，其次是蛋白质，乳糖及灰分则比较稳定，部分奶牛品种原料乳主要成分组成见表 1-1-2。

表 1-1-2		部分奶牛品种原料乳主要成分组成				单位:%	
奶牛品种	相对密度	水分	干物质	脂肪	蛋白质	乳糖	灰分
荷斯坦牛	1.0324	87.5	12.50	3.55	3.43	4.86	0.68
西门塔尔牛	1.0324	87.18	12.82	3.79	3.34	4.81	0.71
更赛牛	1.0336	85.13	14.87	5.19	4.02	4.91	0.74
娟姗牛	1.0331	85.31	14.69	5.19	3.86	4.94	0.70
水牛	1.0290	81.41	18.59	7.47	7.10	4.15	0.84
牦牛	—	81.60	18.40	7.80	5.00	5.00	—

(1) 荷斯坦牛 (Holstein - Friesian) 因其毛色为黑白花片, 故通称黑白花牛 (Black and white dairy cattle)。黑白花牛是目前世界上产乳量最高、数量最多、分布最广的乳用品种。分乳用型黑白花牛和乳肉兼用型黑白花牛。前者体格高大、结构匀称、乳房特别硕大, 有典型的乳用型外貌, 为奶牛产乳之冠, 一般年均产乳量 6500 ~ 7500kg, 乳脂率为 3.5% ~ 3.7%。后者体格偏小、头宽颈粗, 有较好的产肉性能, 我国习惯上称为小荷兰牛, 年均产乳量一般为 5000 ~ 6500kg, 乳脂率 3.8% ~ 4.1%。产肉性能较好, 屠宰率可达 55% ~ 60%。

(2) 西门塔尔牛 (Simmental) 原产于瑞士西门塔尔平原等, 为乳肉兼用品种。毛色为黄白花或淡红白花, 头、胸、腹下、四肢及尾帚多为白色, 皮肤为粉红色。成年母牛 650 ~ 800kg, 平均产乳量为 4070kg, 乳脂率 3.8%。世界上许多国家都引进西门塔尔牛, 在本国选育或培育后, 冠以该国国名。中国西门塔尔牛 (Chinese Simmental cattle) 品种于 2006 年在内蒙古和山东省嘉祥县同时育成。由于培育地点的生态环境不同, 中国西门塔尔牛分为平原、草原、山区三个类群。

(3) 更赛牛 (Guernsey) 属于中型乳用品种, 原产于英国更赛岛。毛色为黄褐色或褐黄色, 带有白斑, 腹下、四肢下部、尾梢多为白色。年均产乳量为 6659kg, 乳脂率为 4.49%, 乳蛋白率为 3.48%, 以高乳脂、高乳蛋白以及乳中较高的胡萝卜素含量而著名。

(4) 娟姗牛 (Jersey) 毛色为淡黄色或黄褐色, 乳脂率高, 平均为 5.3%, 但产乳量相对较低, 年均产乳量 3000 ~ 3500kg。乳脂黄色, 脂肪球大, 适于制造黄油。

(5) 水牛 (Buffalo) 分沼泽型和江河型两种类型。我国和东南亚一带的水牛属于沼泽型, 印度的摩拉水牛和巴基斯坦的尼里 - 瑞非水牛属于江河型。两种类型在体型外貌、生活习性等方面均有着明显差别。

摩拉水牛 (Murrah) 是世界上著名的乳用水牛, 用以生产鲜乳和奶油。原产地产乳量一般为 1400 ~ 2000kg, 乳脂率为 7.0% ~ 7.5%, 泌乳期 8 ~ 10 个月。

温州水牛 (Wenzhou buffalo) 是比较好的役乳兼用水牛, 具有较好的泌乳性能, 耐粗饲, 抗病力强。一个泌乳期最高可产乳 1250kg, 乳脂率为 9%, 干物质含量为 21.0%。

(6) 牦牛 (yak) 世界上海拔最高的高寒地区特有牛种, 主产于中国青藏高原海拔 3000 米以上的西藏、青海、新疆、甘肃、四川、云南等省区, 约占世界牦牛总数的 94% 以上。牦牛躯体强健, 头大, 额长而平, 四肢短粗, 体长 2 ~ 3 米, 肩高 1.3 米以上, 体重最高达 1000kg, 全身褐黑色或棕黑色。由于高原严寒, 牦牛产乳时间很短, 为每年的 6—9 月, 每次产乳量也仅约为 1.5L, 大大低于普通奶牛产乳量, 但营养价值高, 被称为天然绿色浓缩乳。

(7) 中国草原红牛 (Grassland red cattle) 毛具光泽, 多为深红色, 泌乳期平均为 220d, 年均产乳量 1662kg, 乳脂率为 4.02%, 最高个体产乳量 4507kg, 为乳肉兼用牛种。

(8) 爱尔夏牛 (Ayrshire) 原产英国爱尔夏。毛色为白色与桃红色或深红色相间, 头部额至鼻梁、腹下、四肢下部及尾梢多为白色, 背腰平直, 乳房宽阔, 乳头分布均匀。年均产乳 3500 ~ 4500kg, 乳脂率 3.8% ~ 4.0%, 脂肪球小, 广布世界各国。

(9) 瑞士褐牛 (Brown Swiss) 为乳肉兼用品种。年均产乳量 3900 ~ 5800kg, 乳脂率为 3.8%。

二、影响牛乳成分的因素

(一) 奶牛个体因素

奶牛品种是经过人类长期选择培育而形成的，牛乳的成分因品种的遗传性而异。在产乳性能方面，不同品种之间差异很大，具体见表 1-1-2。即使同一品种，不同个体间产乳量及乳汁成分也是有差异的，体型大的母牛比体型小的母牛产乳多。喂料不足和营养不良会导致产乳量显著降低，脂肪率也随之下降。如果长期营养不良，当恢复营养后，乳中的大部分成分可以恢复到原有水平，但蛋白质很难完全恢复。因此配种选育时，奶牛和公牛，特别是公牛应选择营养好、体型大、泌乳量大和蛋白质含量高的良种。

(二) 环境因素

1. 气温

奶牛最适宜的温度是 10 ~ 15℃，高于或低于这一温度，其泌乳量都会减少，牛乳的成分也会产生相应的变化。奶牛总体上是怕热不怕冷，气温高时泌乳量显著减少，乳蛋白质及非脂乳固体也同时减少。其主要原因是奶牛食欲下降，采食量减少所致。南方夏天的产乳量不足冬天的 50%，每年春节前后为产乳高峰期；但北方正好相反，冬天产乳量是夏天的一半不到。在高温条件下为奶牛提供凉棚，使用风扇、水喷雾或冷气可以减轻逆境压力，使产乳量比无降温设施的奶牛增加 10%。奶牛对低温环境条件的自身调节能力较强，如果给奶牛加强对风、雪、雨等的防护措施，并经常保持牛床干燥，则 10℃ 左右的牛舍与 -1℃ 左右的牛舍奶牛泌乳能力基本相同。当温度从 10℃ 缓慢下降至 -15℃ 时，奶牛泌乳量逐步减少，但乳脂率、蛋白质、非脂乳固体含量增加，乳糖、乳密度及冰点几乎未受到影响。

2. 噪声、日照及空气污染

噪声及突发事件能引起奶牛神经过敏，使泌乳量降低。最常见的是相同间隔时间，白天奶牛产乳量低于夜晚，这是夜间安静而白天嘈杂所致。噪声会影响牛的采食，但进行人性化饲养，如白天在奶牛场“对牛弹琴”，播放一些轻音乐，会增加挤乳量。日照对奶牛个体而言，因受阳光照射程度和时间长短不同，对泌乳量及牛乳的成分有一定影响。因日照原因，舍饲奶牛比放牧奶牛个体乳脂百分率最大约可相差 1%。奶牛在环境被污染的地区饲养，如受尘埃及亚硫酸毒气影响，比没有受污染地区饲养的奶牛，每头牛每天的产乳量要减少 5% ~ 10%。

(三) 管理因素

1. 挤乳次数和间隔时间

理论上每天挤乳 3 次比挤乳 2 次产乳量增加 10% ~ 25%，挤乳 4 次能再增加 5% ~ 10%。但也不是挤乳次数越多，泌乳量越多，因多次挤乳，牛会受到过分干扰，从拴养处到挤乳厅也多耗体能，产乳量要受影响，且多次挤乳劳务费用也大。故综合因素考虑，目前国内奶牛日挤乳次数大多依据产乳量，日均产乳 35kg 以上的牧场多采用 3 次/d 挤乳，而日均产乳 35kg 以下一般为 2 次/d 挤乳。因此挤乳次数和间隔时间长短，不是一成不变的，应充分考虑奶牛产乳量、当地环境、气候、设备、人员以及季节等情况。

2. 挤乳方法

在一次挤乳过程中，从最初到最后不可能获得同一组成的牛乳，最初挤乳的乳脂率

低,随后逐渐增加,最后挤乳的乳脂率最高。挤乳间隔时间越长差异越大,但同一次挤乳中不同阶段乳的非脂固体、蛋白质、乳糖和灰分的含量变化不大。挤乳方法优良,不仅挤的量多,乳脂率也高。挤乳要快、要尽,否则可能要少产乳 10% 左右,且易患乳房炎。

3. 配种与产犊季节

奶牛配种受孕后随着怀胎月份的增长将逐渐影响产乳量,胎儿发育需要从母体摄取营养物质,从而影响泌乳所需要的营养。一般掌握在产后 80 ~ 120d 内配种受孕为好,奶牛分娩前 50 ~ 60d 停止挤乳(干乳)给予休息,不论是更长或更短的挤乳期都会使下一泌乳期产乳量减少。在江、浙、沪地区适宜每年 10 月产犊,其母牛牛乳年产量也高。而每年 5、6 月产犊的母牛泌乳高峰期正值高温季节,泌乳量剧减,且严重影响本胎次产乳量。母牛妊娠第 5 个月起泌乳量开始下降,而乳脂肪、蛋白质、非脂乳固体迅速增长,但乳糖量减少。

4. 疾病与药物

奶牛一旦患病泌乳量即减少,牛乳的成分也会发生变化,受影响程度因疾病种类不同而异。如患乳房炎,泌乳量会减少 10% ~ 20%,乳中乳清蛋白、免疫球蛋白、氯及钠含量增加,酪蛋白、乳白蛋白、乳糖、钾及磷的含量减少,pH 升高,牛乳中细菌数、白血球以及上皮细胞数增加。乳房炎乳不宜作乳制品的原料乳,对人体健康有害。如果母牛患上全身性疾病,体温上升,泌乳量会急剧下降,乳脂率有升高趋势,而非脂乳固体含量减少。应用抗生素、激素、杀虫剂治疗奶牛疾病时,药物会进入乳中,这样的乳不可用,以防药物在食品中的残留。

5. 饲料

饲料与遗传一样是影响牛乳产量和成分组成的重要因素。正常饲养管理不仅能提高产乳量,而且可以增加乳中的干物质。在饲料给量不足与饲料的配制不恰当时,都会引起产乳量下降和乳成分的变化,特别是对非脂乳固体影响显著。精饲料用量过多、过度粉碎或进行蒸煮以及粗饲料不足时,会引起瘤胃发酵过程变化,使得低级脂肪酸组成比例变化,牛乳乳脂率随之下降;若配合饲料中能量饲料不足,泌乳量、乳脂率、非脂固体以及蛋白质含量就会下降;饲料中蛋白质含量不足时,不但会引起挤乳量下降,而且会导致乳中蛋白质含量降低;饲料对乳脂及其性质有显著影响,饲喂青饲料多,牛乳中脂肪含量会上升,蛋白质含量会下降;饲料中维生素含量不足时,不但使产乳量降低,而且使乳中维生素含量减少;饲料中无机物不足时,不但减少产乳量,而且消耗体内贮存的无机盐。

6. 其他管理问题

牛群的产乳量常有忽高忽低的情况,多半原因是管理问题。应对牛乳的每日产乳量进行记录,并建立档案,经常与当日产乳量进行对比,研究饲料变化和配比合理性,有无生病、受热、受惊、角斗和抢食等问题,找出相应的解决方法。

第二节 牛乳的物理性质

牛乳的物理性质对乳制品的加工性能等有重要的影响。牛乳的物理性质参数对加工工艺和加工设备的设计具有重要意义(如热导和黏度),可用于测定牛乳中特定成分的含量

(如冰点的升高可能说明乳中掺水,通过相对密度的测定可评估非脂乳固体含量),也可用来测定牛乳加工过程中某些生物化学变化(如发酵剂的酸化程度、凝乳酶产生凝块的情况等),是牛乳质量标准和收购验收的重要依据之一。

一、相对密度

牛乳的相对密度系指牛乳在 20℃ 时的质量与同容积水在 4℃ 时的质量之比。正常牛乳的相对密度平均为 $d_4^{20} = 1.028$,目前我国乳品厂都采用这一标准。牛乳的相对密度随温度而变化,温度降低,牛乳相对密度增高;反之,牛乳密度降低。在 10 ~ 25℃ 内,温度每变化 1℃,牛乳的相对密度就相差 0.0002。刚挤出来的乳在放置 2 ~ 3h 后,其相对密度升高 0.001 左右,这是由于气体的逸散及脂肪的凝固使容积发生变化的结果,故不宜在挤乳后立即测试相对密度。

相对密度与乳固体呈对应关系,常乳中乳固体含量为 11% ~ 13%,除干燥时蒸发的水和随水蒸气挥发的物质以外,乳固体就是乳的全部成分,因此生产中进行物料计算时,都需要以乳固体为基础。但乳脂肪的体积膨胀系数较大,会影响乳固体值。因此实际工作中,特别是在乳制品生产进行标准化时,也有用非脂乳固体作为计算基准值的。

二、光学性质

牛乳在可见光区(380 ~ 760nm)、红外区(760nm ~ 1mm)和紫外区(5 ~ 380nm)均可吸收、散射或激发产生荧光。

(一) 牛乳成分与光的吸收

牛乳中有一些特定的官能团,它们能吸收红外区域的光谱,如乳糖羟基、蛋白质的氨基和脂肪羧酸酯基,最大吸收峰分别在 9.61μm、6.4651μm 和 5.723μm,因此,可利用特定波长的红外光来测定乳中脂肪、蛋白质和乳糖的含量。

牛乳中的核黄素在 470nm 处有强的吸收(使乳清呈黄色),并于 530nm 处产生激发荧光,胡萝卜素(存在于脂肪球中)在 460nm 处有吸收光(使奶油呈黄色)。在紫外区,蛋白质中的芳香族氨基酸残基(酪氨酸和色氨酸)在近 280nm 处有吸收,在 340nm 处产生激发荧光,通过测定此激发荧光的强度可定量测定乳蛋白质含量。此外,乳脂肪在 220nm 处有两个吸收峰。

(二) 牛乳中的分散相与光的散射

乳脂肪球和酪蛋白胶粒对光有散射作用。因此,可通过散射光和透射光来分析乳中脂肪含量以及脂肪球的粒度分布(主要是测定浊度)。酪蛋白胶粒散射蓝光(短波长)比散射红光更显著,从而使脱脂乳呈现出淡蓝色;全脂乳均质后,因增加了光散射(如在 550nm 处增加光散射约 19%)而使全脂均质乳颜色更白一些。

(三) 折射率

牛乳的折射率随温度和波长的不同而异。利用折射仪透过薄层样品可精确测得乳的折射率。在 20℃ 下,乳的折射率 n_D^{20} 一般为 1.3440 ~ 1.3485,水的折射率 n_D^{20} 为 1.3330,乳与水 n_D^{20} 之间的差异 Δn 反映了牛乳中的溶解物质(如乳糖、无机盐等)和胶体物质的含量(酪蛋白胶粒和乳清蛋白)对乳折射率的影响。乳脂在 40℃ 的折射率一般为 1.4537 ~ 1.4552。

(四) 色泽

新鲜正常的牛乳呈不透明的白色并稍呈淡黄色,这是牛乳的基本色调。牛乳的色泽是由于乳中酪蛋白胶粒及脂肪球对光的不规则反射的结果。脂溶性胡萝卜素和叶黄素使乳略带淡黄色,水溶性的核黄素使乳清呈荧光性黄绿色。

三、黏度与表面张力

(一) 黏度

牛乳的主要流变特性表现为牛顿流体、非牛顿流体和凝胶等。表征这些特性的物理参数常为黏度、硬度和弹性等。在一定条件下(中等剪切速率,脂肪含量 $<40\%$,温度 $>40^{\circ}\text{C}$,脂肪呈液态),乳、脱脂乳和稀奶油呈牛顿流体特性。牛乳在 25°C 时其黏度为 $0.0015 \sim 0.002 \text{Pa} \cdot \text{s}$,并随温度升高而降低。对于全脂乳和稀奶油而言,在温度低于 40°C (脂肪呈半固态)、低剪切速率下,表现为非牛顿流体;当剪切速率足够高时,其表现特征又接近牛顿流体。在乳的成分中,脂肪及蛋白质对黏度的影响最显著。在一般正常的牛乳成分范围内,非脂乳固体含量一定时,随着含脂率的增高,牛乳的黏度亦增高。当含脂率一定时,随着乳固体的含量增高,黏度也增高。初乳、末乳的黏度都比正常乳高。

黏度对乳品加工影响较大,如甜炼乳加工过程中,若黏度过低可能发生分离或糖沉淀,过高则可能发生浓厚化;贮藏中的淡炼乳,如黏度过高则可能产生矿物质的沉积或形成冻胶体(即形成网状结构)。此外,在生产乳粉时,如黏度过高可妨碍喷雾,产生雾化不完全及水分蒸发不良等问题。

(二) 表面张力

在液体表面,分子所受作用力是不对称的,存在指向体相内部的引力,因此,液体表面存在缩成最小的趋势,这种使液体表面积减少的力被称为表面张力。牛乳表面张力在 20°C 时为 $0.04 \sim 0.06 \text{N/cm}$,测定表面张力可用于鉴别牛乳中是否混有其他添加剂。

牛乳的表面张力与牛乳的起泡性、乳浊状态、微生物的生长发育、热处理、均质作用及风味成分等有密切关系。牛乳的表面张力随温度的上升而降低,随含脂率的减少而增大。然而牛乳经均质处理后,脂肪球表面积增大,由于表面活性物质吸附于脂肪球界面处,从而增加了表面张力。如果不将脂肪酶先经热处理而使其钝化,均质处理会使脂肪酶活性增加,从而导致乳脂水解生成游离脂肪酸,最终使牛乳表面张力降低,而表面张力与乳的起泡性有关。加工冰淇淋或搅打发泡稀奶油时希望有浓厚而稳定的泡沫形成,但运送乳、净化乳、稀奶油分离和乳杀菌时则不希望形成泡沫。

四、依 数 性

将一非挥发性溶质溶于水时,溶液的冰点将比水的冰点有所降低,沸点有所升高;在溶液与水之间若用半透膜隔开将会产生渗透压。对于溶液来说,以上“冰点降低”“沸点升高”“渗透压”等数值仅与溶液中溶质的质点数(以摩尔分数表示)有关,而与溶质的性质无关,因此称之为“依数性”。

(一) 冰点

牛乳冰点的平均范围为 $-0.55 \sim -0.53^{\circ}\text{C}$,平均值为 -0.542°C 。作为溶质的乳糖与盐类是决定乳汁冰点的主要因素,由于它们的含量较稳定,所以正常新鲜牛乳的冰点较稳

定。如果在牛乳中掺水，可导致冰点回升。可根据冰点计算掺水量，掺水 10% 牛乳冰点约上升 0.054℃。掺水量推算公式：

$$\omega = \frac{t - t'}{t} \times (100 - \omega_s)$$

式中 ω ——以质量计的加水量，%；

t ——正常乳的冰点，℃；

t' ——被检乳的冰点，℃；

ω_s ——被检乳的乳固体含量，%。

以上计算对新鲜牛乳是有效的，但酸败乳冰点会降低。另外贮藏与杀菌条件对乳的冰点也有影响，所以测定冰点必须是对酸度在 20°T 以下的新鲜乳。

（二）沸点与渗透压

牛乳的沸点在 101.33kPa（1 个大气压）下约为 100.55℃。牛乳的沸点受乳固体含量影响，如浓缩过程中因水分不断减少乳固体含量增高，会使沸点不断上升，当浓缩到原容积的一半时，乳的沸点约上升到 101.05℃。

牛乳的渗透压与奶牛血液的渗透压相关，两者基本相等，即 687kPa。如果牛乳中乳糖含量发生变化，为了平衡渗透压，乳腺会通过 Na^+ 、 Cl^- 浓度的改变来补偿。所以，乳中的乳糖含量和氯离子浓度呈强的负相关。

（三）热学性质

牛乳的比热容一般约为 3.89kJ/（kg·K），其比热容是乳中各成分比热容之和。乳中主要成分的比热容分别是：乳脂肪 4.09kJ/（kg·K）、乳蛋白质 2.42kJ/（kg·K）、乳糖 1.25kJ/（kg·K）、盐类 2.93 kJ/（kg·K）。牛乳的比热容主要与乳脂肪有关，同时也受温度的影响。乳和乳制品的比热容，在乳品生产过程中常用于加热量和制冷量计算，可按照下列标准计算：牛乳为 3.94 ~ 3.98kJ/（kg·K），稀奶油为 3.68 ~ 3.77kJ/（kg·K），干酪为 2.34 ~ 2.51kJ/（kg·K），炼乳为 2.18 ~ 2.35kJ/（kg·K），加糖乳粉为 1.84 ~ 2.011kJ/（kg·K）。当大量处理牛乳以及在浓缩干燥过程中进行加热时，比热容参数对机械的设计和燃料的节省都有重要作用。

五、电 学 性 质

（一）电导率

牛乳并不是电的良好导体，由于牛乳中含有盐类，因此具有导电性，可以传导电流。通常电导率依乳中的离子数量而定，但离子数量取决于牛乳中盐类的含量和种类，因此乳中的盐类受到任何破坏，都会影响其电导率。与乳电导率关系最密切的离子为 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等。正常牛乳的电导率在 25℃ 时为 0.004 ~ 0.005S/m，会随着温度的升高成比例增长。此外，细菌发酵乳糖产生乳酸会升高电导率，因此，可通过测定电导率来控制乳酸菌在乳中的生长繁殖。乳房炎乳中 Na^+ 、 Cl^- 等增多，电导率上升。一般电导率超过 0.006S/m，即可认为是病牛乳，故可通过电导仪进行乳房炎乳的快速检测。

（二）氧化还原电势

氧化还原电势表征了物质失去或得到电子的难易程度（物质失去电子被氧化，得到电子被还原），用 E_h 表示。物质被氧化得越多，它的电势就呈现越多的正电。一般牛乳的

氧化还原电势 E_h 为 $+0.23 \sim +0.25V$ 。乳经过加热产生还原性的产物而使 E_h 降低, Cu^{2+} 的存在可使 E_h 增高。降低牛乳的氧化还原电势可有效抑制需氧菌的生长繁殖, 显著降低牛乳中易氧化营养成分的氧化分解, 如脂肪的氧化分解。因此, 在生产实践中, 可通过降低牛乳中的溶氧量, 以及调整牛乳中氧化或还原性物质的含量比例, 改变这些成分的存在状态, 以达到降低氧化还原电势的目的, 从而延长乳品的保质期。如乳粉的真空包装或充氮包装、酸乳的乳酸菌发酵都因降低了乳品的氧化还原电势而延长了保质期。

六、声学性质

牛乳中含有许多不溶解的胶性颗粒, 这种颗粒具有一定大小, 如脂肪球的直径一般为 $2 \sim 20\mu m$, 酪蛋白胶束的平均颗粒大小为 $120nm$ ($50 \sim 500nm$), 向乳液基质发射或传入特定声波会产生一定的回声反应, 或引起牛乳成分结构等内在变化, 在这方面研究的广度和深度还有待加强。超声波在乳中传播时, 声传播速度、声衰减和声阻抗等超声量会发生改变, 通过测量这些声学量, 可以了解乳的特性和成分的变化, 分析牛乳的内部结构和理化性质。目前, 应用超声波可以检测乳中脂肪和非脂肪固形物含量、分析乳中颗粒大小及分布 (如酪蛋白胶粒在乳中的分布)、研究酪蛋白胶粒在乳中的凝结过程 (可以判定干酪生产中适宜的凝块切割时机) 和测定奶牛乳头的乳汁流量以及无伤探测无菌包装乳的灭菌情况等。此外, 还可应用超声波对牛乳进行杀菌和均质乳化处理。

七、酸度和氢离子浓度

乳蛋白分子中含有较多的酸性氨基酸和自由羧基, 而且受磷酸盐等酸性物质的影响, 故牛乳是偏酸性的。刚挤出的新鲜牛乳的酸度称为固有酸度或自然酸度, 正常乳的自然酸度为 $16 \sim 18^\circ T$ 。自然酸度主要由乳中的蛋白质、柠檬酸盐、磷酸盐及 CO_2 等酸性物质所构成, 其中, $3 \sim 4^\circ T$ 来源于蛋白质, $2^\circ T$ 来源于 CO_2 , $10 \sim 12^\circ T$ 来源于磷酸盐和柠檬酸盐。挤出后的牛乳在微生物的作用下发生乳酸发酵, 导致乳的酸度逐渐升高, 这部分酸度称为发酵酸度。固有酸度和发酵酸度之和称为总酸度, 简称酸度。一般以标准碱液滴定法测定的滴定酸度表示。

滴定酸度亦有多种测定方法及表示形式。我国滴定酸度用吉尔涅尔度 ($^\circ T$) 或乳酸度 (乳酸%) 来表示。滴定酸度可及时反映出乳酸产生的程度, 所以生产中广泛地采用测定滴定酸度来间接掌握牛乳的新鲜度。酸度可以衡量牛乳的新鲜程度, 同时牛乳的酸度越高所表现的热稳定性越低, 因此测定牛乳的酸度对生产有重要意义。

(一) 滴定酸度 ($^\circ T$)

取 $10mL$ 牛乳, 用 $20mL$ 蒸馏水稀释, 加入 0.5% 的酚酞指示剂 $0.5mL$, 以 $0.1mol/L$ $NaOH$ 溶液滴定, 将所消耗的 $NaOH$ 毫升数乘以 10 , 即为中和 $100mL$ 牛乳所需的 $0.1mol/L$ 氢氧化钠毫升数, 消耗 $1mL$ 为 $1^\circ T$, 也称 1 度。正常的酸度为 $16 \sim 18^\circ T$ (乳酸度为 $0.15\% \sim 0.17\%$)。这种酸度与贮存过程中因微生物繁殖所产生的乳酸无关。

(二) 乳酸度 (乳酸%)

用乳酸量表示酸度时, 按上述方法测定后用下列公式计算:

$$\text{乳酸}(\%) = \frac{0.1mol/LNaOH \text{ 体积}(mL) \times 0.009}{\text{供试牛乳质量}(g)} \times 100$$