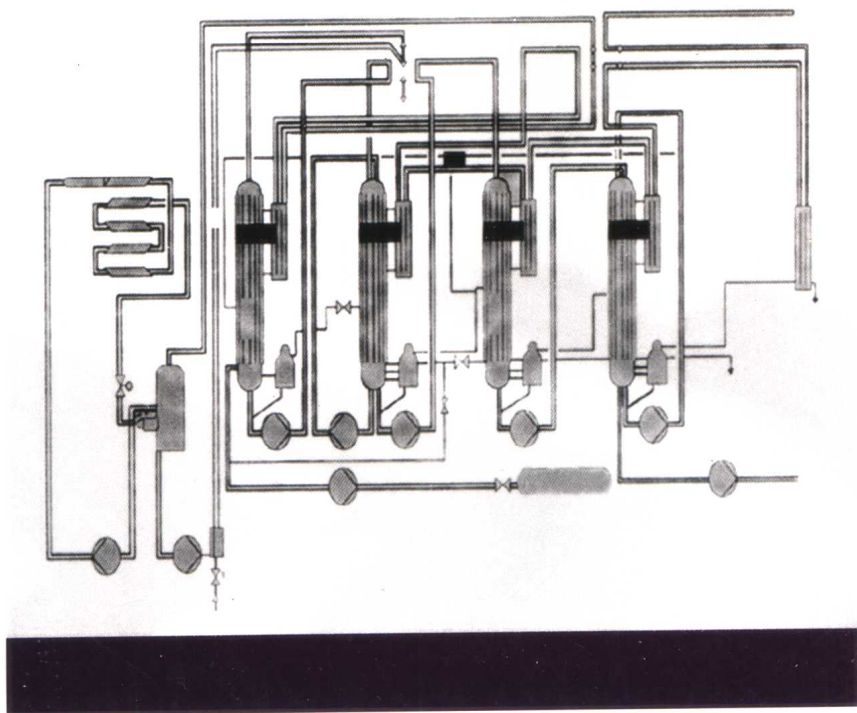


郭成宇 主编

现代乳品工程技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社

现代乳品工程技术

郭成宇 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

现代乳品工程技术/郭成宇主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3

ISBN 7-5025-5234-0

I. 现… II. 郭… III. 乳品工业-工程技术
IV. TS252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 016823 号

现代乳品工程技术

郭成宇 主编

责任编辑: 陈 丽

文字编辑: 温建斌

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 512 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5234-0/TS·159

定 价: 48.00 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

前 言

随着人民生活水平的提高和政府对乳业的重视和鼓励,近年来我国乳品消费量每年以15%的速度快速递增,但仍低于世界平均水平。目前,世界排名前25位的外国乳品公司中,已有13位进入中国,而我国有实力的公司如上海的光明,河北的三鹿,内蒙古的伊利也成套引进了先进国家的设备及工艺,使我国的乳品市场和乳品加工企业发生了巨大变化。由于大量引进设备及工艺,使从事乳制品生产、管理、科研和教学的人员迫切地需要有关这方面的书籍。编者多年来一直从事乳品的教学和科研工作,在此基础上,又根据我国现有的乳品工厂的实际情况及21世纪国际乳品工业发展的方向,编写了本书。

本书在介绍牛乳基础理论的前提下,重点论述了牛乳预处理、巴氏杀菌乳、超高温灭菌乳(UHT)、浓缩技术、干燥技术、无菌包装技术及良好的就地清洗(CIP)等,还介绍了国外知名企业的乳品生产工艺及设备,如利乐公司的超高温杀菌乳生产工艺及设备、四效降膜浓缩系统、TBA/19型利乐砖;德国SIG Combibloc公司的康美盒包装机;德国KF公司管式杀菌乳系统、无菌灌装系统;GEA wiegand公司的真空浓缩工艺和CEA Niro公司的喷雾干燥新技术;最新杀菌技术在乳制品中的应用如离心除菌、微滤等。

此外,本书另一大特点是讨论了工艺计算,对四效降膜浓缩系统、喷雾干燥系统的物料、水、汽和供水进行了衡算。

由于编写时间较为仓促,加之水平有限,现代乳品加工技术又不断更新,书中难免有疏漏不妥之处,敬请广大读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 牛乳的成分及性质	1
第一节 牛乳中各种成分存在状态	1
一、牛乳中的物质呈乳浊液与悬浮液状态存在	1
二、牛乳中的物质呈分子或离子状态（溶质）存在	2
第二节 牛乳的成分	2
一、牛乳的基本组成	2
二、不同品种牛乳组成的差异	3
三、正常牛乳的主要成分及含量	3
四、牛乳加工后各组分的名称	4
第三节 牛乳的成分及化学性质	4
一、水分	4
二、干物质	6
三、牛乳中的气体	7
四、乳脂肪	7
五、磷脂类及甾醇	14
六、碳水化合物	16
七、乳蛋白质	19
八、乳中的酶	31
九、乳中的维生素	34
十、乳中的无机物和盐类	39
第四节 影响牛乳成分的因素	42
一、牛的品种对牛乳成分的影响	43
二、泌乳期对牛乳成分的影响	43
三、乳牛年龄对牛乳成分的影响	44
四、饲养与管理条件对牛乳成分的影响	45
五、挤乳对牛乳成分及性质的影响	46
六、乳牛健康状况对牛乳成分的影响	47
七、其他因素的影响	47
第五节 牛乳的物理性质	47
一、牛乳的色泽	47
二、牛乳的滋味与气味	48
三、牛乳的酸度	49
四、牛乳的相对密度	51
五、牛乳的黏度	52
六、牛乳的表面张力	53

七、牛乳的比热容	53
八、牛乳的冰点和沸点	54
九、牛乳的电导率	54
十、牛乳的折射率	55
第六节 加工处理对牛乳性质的影响	55
一、牛乳在加热处理中的变化	55
二、牛乳冷藏过程中的质量变化	61
第二章 牛乳中的微生物	63
第一节 微生物的形态	63
一、细菌	63
二、酵母菌	71
三、霉菌	75
四、放线菌	82
五、噬菌体	83
第二节 微生物的营养及生长	85
一、微生物细胞的化学组成	85
二、微生物的营养	87
三、微生物的新陈代谢及其产物	92
第三节 乳及乳制品中的微生物	95
一、鲜牛乳中的微生物	95
二、液态乳中的微生物	98
三、乳粉中的微生物	101
第四节 乳品中微生物的污染及防止措施	102
一、微生物污染乳品的途径	103
二、乳品生产卫生	104
第三章 牛乳预处理技术	113
第一节 原料乳的质量控制	113
一、牛乳	113
二、乳量	113
三、泌乳周期	113
四、挤奶	113
五、牧场的冷却及贮藏	115
六、运输	116
七、原料乳的检验及计量验收	117
八、异常乳	123
第二节 牛乳的冷却与贮藏	126
一、原料乳冷却的目的	126
二、原料乳的冷却温度与贮藏时间的关系	126
三、冷却设备	126
第三节 牛乳的净化和分离	128

一、乳的净化·····	128
二、乳的分离·····	129
三、离心除菌·····	135
第四节 牛乳的标准化·····	135
一、标准化原理·····	135
二、标准化工艺流程·····	137
三、标准化方法·····	137
第五节 牛乳的均质·····	143
一、牛乳均质的目的·····	143
二、均质原理·····	143
三、均质效果的评定和影响因素分析·····	145
四、均质化乳的特点·····	146
五、均质化乳的缺点·····	147
六、粒径分布分析·····	147
七、生产线上的均质机·····	147
第六节 牛乳的真空脱气·····	148
一、牛乳真空脱气的目的·····	148
二、牛乳真空脱气的原理·····	148
第四章 牛乳的杀菌·····	151
第一节 牛乳的巴氏杀菌·····	151
一、牛乳巴氏杀菌的目的·····	151
二、牛乳巴氏杀菌的方法·····	151
三、巴氏杀菌生产工艺·····	153
四、巴氏杀菌乳的保质期·····	154
五、热交换方式及杀菌设备·····	155
六、辅助系统·····	161
七、加热杀菌对微生物的致死效果·····	163
八、各种杀菌温度对牛乳质量的影响·····	164
九、原料乳的杀菌工艺·····	165
十、物理和化学杀菌法简介·····	165
第二节 UHT 牛乳的生产技术·····	166
一、UHT 牛乳的生产工艺·····	166
二、对原料乳的要求·····	167
三、消毒乳的种类·····	167
四、高温灭菌的基本原理·····	168
五、超高温灭菌方法·····	170
第三节 UHT 灭菌牛乳常见的质量问题·····	185
一、超高温处理时的牛乳变化·····	185
二、生化酶解·····	186
三、微生物引起的变质·····	186

四、物理变化·····	188
五、化学变化·····	189
六、UHT 乳制品的质量管理 ·····	191
第四节 再制奶·····	193
一、原料处理·····	193
二、再制奶生产工艺·····	195
第五章 牛乳浓缩技术·····	197
第一节 牛乳浓缩的基本原理·····	197
一、牛乳浓缩的概念·····	197
二、牛乳浓缩的目的及原理·····	197
三、浓缩过程的化学变化·····	198
第二节 浓缩过程的方式·····	198
一、自然浓缩·····	198
二、沸腾浓缩·····	199
三、膜浓缩·····	199
四、牛乳浓缩操作的工艺条件·····	199
五、浓缩终点的确定·····	200
第三节 真空浓缩设备的组成·····	200
一、真空浓缩设备的组成·····	200
二、真空浓缩设备的类型·····	201
三、真空浓缩设备的结构及操作·····	202
四、真空浓缩装置的附属设备·····	211
五、浓缩操作的故障·····	217
第四节 真空浓缩的计算·····	221
一、浓缩加热热力方案·····	221
二、浓缩计算与查定·····	222
三、四效降膜式浓缩系统的三大平衡计算·····	230
第五节 膜浓缩·····	233
一、膜分离原理·····	233
二、过滤模型·····	233
三、膜分离装置的工艺流程·····	235
第六章 乳粉干燥技术·····	237
第一节 喷雾干燥·····	237
一、喷雾干燥原理·····	237
二、雾滴的传热和干燥原理·····	238
三、喷雾干燥的特点·····	241
四、喷雾干燥的形式·····	242
五、喷雾干燥设计计算·····	248
第二节 干燥过程的物料衡算和热量衡算·····	253
一、喷雾干燥物料平衡计算·····	253

二、喷雾干燥设备的热量衡算·····	256
三、喷雾干燥塔的设计·····	256
第三节 沸腾干燥设备·····	258
一、沸腾干燥的工作原理·····	258
二、沸腾干燥设备的主要类型·····	259
三、沸腾干燥的计算·····	261
第四节 气流干燥设备·····	261
一、气流干燥的工作原理·····	261
二、气流干燥的计算·····	263
第五节 速溶乳粉的生产·····	265
一、速溶乳粉生产工艺·····	265
二、出粉、冷却、称量与包装·····	269
三、乳粉的理化性质·····	271
第六节 喷雾干燥附属设备装置·····	274
一、喷雾干燥室结构及计算·····	274
二、粉尘回收设备·····	275
三、空气过滤器·····	279
四、空气加热器·····	279
五、进风机及排风机的选择·····	281
第七章 无菌包装技术 ·····	282
第一节 无菌包装的基本概念·····	282
一、无菌包装的分类及特点·····	282
二、无菌包装材料·····	283
三、包装材料(容器)的杀菌·····	285
第二节 无菌包装设备与无菌包装过程·····	289
一、利乐包纸盒无菌包装系统·····	290
二、Combibloc 无菌包装系统·····	294
三、塑料杯无菌包装系统·····	298
四、玻璃瓶无菌包装系统·····	298
五、塑料瓶无菌包装系统·····	301
六、大容量无菌包装——箱中衬袋无菌包装·····	305
七、塑料袋无菌包装系统·····	306
八、马口铁罐无菌包装系统·····	307
第三节 包装无菌性的保证·····	307
一、包装机的灭菌·····	307
二、包装纸的灭菌·····	308
三、包装机的日常维护·····	310
第八章 乳品设备清洗 ·····	311
第一节 清洗的基本概念·····	311
一、清洗要求·····	311

二、清洗程序.....	311
三、残留产品的回收.....	312
四、洗涤剂的要求.....	313
第二节 清洗与杀菌.....	314
一、清洗方法.....	314
二、CIP 系统的设计.....	316
三、清洗效果的检验.....	318
参考文献.....	320

第一章 牛乳的成分及性质

第一节 牛乳中各种成分存在状态

牛乳是母牛分娩以后，为给犊牛提供生长所需营养，是动物出生后短时间内惟一的食物。其中含有水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物、无机盐、磷脂类、维生素、酶、免疫体、色素、气体及动物体所需要的各种微量成分。牛乳的化学成分见图 1-1-1。

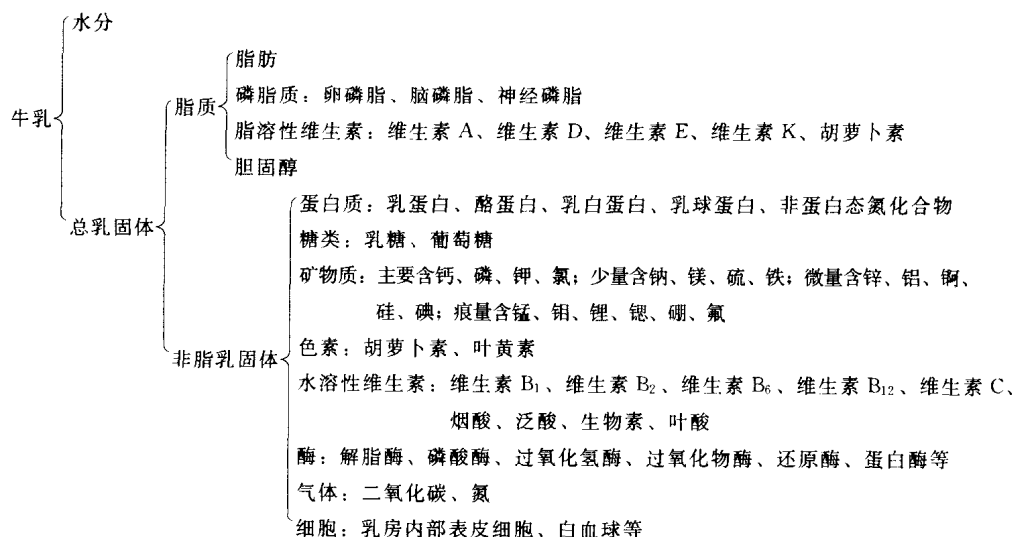


图 1-1-1 牛乳的化学成分

牛乳是多种物质的混合物，它是一种复杂的具有胶体特性的生物学液体。乳中各种物质相互组成分散体系，在分散剂——水中，有以分子及离子状态分散在其中的乳糖及盐；有成乳浊态及悬浮状态分散在其中的蛋白质；还有一部分以乳浊液及悬浮液状态分散在乳中的脂肪。这些分散在分散剂——水中的成分（脂肪、蛋白、乳糖、无机盐）都称为分散相或分散质。

牛乳是一种复杂的胶体分散物系，在这个分散体系中水是分散介质，其中乳糖水溶性盐类、水溶性维生素等呈分子、离子状态溶解于水中，其微粒直径不到 1 nm 即真溶液存在；乳白蛋白及乳球蛋白呈大分子态分散于乳中，其微粒直径约为 15~50 nm，形成典型的高分子溶液；酪蛋白在乳中形成酪蛋白酸钙-磷酸钙复合体胶粒，从其结构、性质及分散来看，它处于一种过渡状态，一般把它列入胶体悬浮液的范畴。胶粒直径约为 30~800 nm；乳脂肪是以脂肪球的形式分散于乳中，形成乳浊液。脂肪球直径约为 100~1000 nm，平均为 300 nm。

一、牛乳中的物质呈乳浊液与悬浮液状态存在

直径在 0.1 μm 以上可以用肉眼或显微镜看见的粒子都不能称为胶体（凡是胶体其粒子都需在 0.1 μm 以下），属于这一类的又可分为下列两种。

(1) 乳浊液 分散质是液体，如水中加入油并加以激烈的搅拌即为一例。牛乳中的脂肪成微小的球状分散在牛乳中，球的直径平均为 3 μm 左右，可以在显微镜下明显地看到，所以牛乳中的脂肪球即为乳浊液的分散质。

(2) 悬浮液 分散质为固体时称为悬浮液。例如将黏土加于水中，并加以激烈的搅拌，这种液体即为一例。用显微镜观察时，可以明显地看到固体粒子的存在。又如将牛乳或稀奶油进行低温冷藏，则最初是液体的脂肪球凝固成固体，这也就是悬浮液的代表。用稀奶油制造奶油时，需将稀奶油在 5℃ 左右进行成熟，使稀奶油中的脂肪球从乳浊态变成悬浮状态。这在制造奶油时，是一项重要的操作过程。

粒子的直径为 0.1~1 nm 的称为胶态。如以形成粒子的原子数而论则以 $10^3 \sim 10^9$ 个原子所形成的粒子即属于此范围。胶态的分散系即称为胶体溶液。胶体溶液中的分散质，普通的叫做胶体粒子，这种粒子在普通的显微镜下不能看到，用电子显微镜可以明显地看到粒子的存在状况，乳中属于胶态的有下列两种。

(1) 乳胶体 分散质是液体或者即使分散质是固体，但粒子周围包有液体皮膜，这时都称为乳胶体。分散在牛乳中的酪蛋白颗粒，其粒子大小大部分为 5~15 nm，乳白蛋白的粒子为 1.5~5 nm，乳球蛋白的粒子为 2~3 nm，这些蛋白质都以乳胶体状态分散。此外脂肪球中，凡在 0.1 μm 以下的也称为乳胶体。

(2) 悬浮液 分散质是固体的属于这一类。牛乳中二磷酸盐、三磷酸盐等磷酸盐的一部分，即以悬胶体状态分散于乳中。此外，Hammarstan 等人认为酪蛋白在牛乳中与钙结合形成酪蛋白钙，按理也是以悬浊质状态存在。但以分散状态而论，酪蛋白远较乳白蛋白不稳定，本来以悬浮态或者接近于这种状态的酪蛋白，由于受了分散剂——水的亲和性及乳白蛋白保护胶体的作用，于是就成为不稳定的乳胶态分散于乳中。

二、牛乳中的物质呈分子或离子状态（溶质）存在

凡粒子直径在 1 nm 以下，形成分子或离子状态存在的分散系称为真溶液。牛乳中以分子或离子状态存在的溶质有磷酸盐的一部分和无机盐类、柠檬酸盐、乳糖等。

总之，牛乳是一种复杂的分散系，其中有以乳浊液及悬浮液存在的脂肪球，也有以胶体状态存在的蛋白质，以及以分子及离子状态存在的盐类和乳糖。乳糖和盐类即使用电子显微镜也难以看到，同时也不能用过滤、静置、离心分离等方法分离出来。胶体状态的蛋白质，也不能简单使用过滤和离心法分离出来，仅可用超（速）离心法（20000 r/min 以上）分离。而脂肪可用静置及离心等方法分离出来。过滤、静置、离心分离牛乳中的成分见表 1-1-1。

表 1-1-1 过滤、静置、离心分离牛乳中的成分

0.1 nm	1 nm	10 nm	100 nm	1 μm	10 μm	100 μm	1 mm
超显微镜领域				显微镜领域			
粒子能通过普通滤纸					粒子不能通过普通滤纸		
真溶液	胶体溶液			乳浊液及悬浮液			

所以乳的组成是复杂的分散系，各成分之间互相联系也互相制约。因此我们必须掌握它们彼此间的规律，利用这些规律为乳品生产服务，如乳的加工及乳的检验等。另外，加工奶油和干酪时，必须破坏这种胶体系，而生产鲜乳及炼乳时，必须保持这种胶体系。

第二节 牛乳的成分

一、牛乳的基本组成

正常的牛乳，各种成分的含量大致是稳定的，但受乳牛的品种、个体差异、泌乳期、年龄、饲料、季节、气温、挤奶状况及健康状况等因素的影响而有所不同。其含量在一定范围内有所变动，其中脂肪变动最大，蛋白质次之，乳糖含量通常很少变化。在乳品加工方面，

过去认为最重要的是脂肪，因此在收购鲜乳时往往用脂肪作标准，同时一些主要乳制品的质量标准也往往突出脂肪的含量。

但牛奶的营养价值和质量的好坏，更主要的取决于干物质，所以有些国家在收购鲜乳时也用于物质或无脂干物质作为质量标准。牛乳的基本组成见表 1-2-1。

表 1-2-1 牛乳的基本组成/%

水分	总干物质	无脂干物质	蛋白质	脂肪	乳糖	灰分	备 注
87.0	13.0	9.0	3.3	4.0	5.0	0.7	中国(北京地区)
88.0	12.0	8.5	3.2	3.5	4.6	0.7	中国(四川地区)
87.2	12.8	9.1	3.5	3.7	4.9	0.7	美国(1963)
87.68	12.32	8.55	3.36	3.77	4.48	0.71	前苏联(1967)
88.47	11.53	8.26	2.89	3.27			日本(1970 全国平均)
87.76	12.24	9.0	3.50	3.40	4.60	0.75	法国(平均)
87.32	12.68	8.91	3.40	3.75	4.70	0.75	英国(平均)
87.90	12.10	8.60	3.25	3.50	4.60	0.75	国际上牛乳的代表组成(荷兰牛)

二、不同品种牛乳组成的差异

牛乳的成分受品种影响较大，不同品种的牛乳组成的差异见表 1-2-2。如表 1-2-2 所示，不同品种牛乳的乳固体、蛋白质、脂肪的含量有所差异，即荷兰牛乳干物质含量较低，而娟姗牛、更娟牛较高，中国黑白花奶牛与纯种荷兰牛类似，干物质含量较低，但产乳量较高。

表 1-2-2 不同品种牛乳组成的差异/%

品种	水分	乳干物质	无脂干物质	脂肪	蛋白质	乳糖	灰分
荷兰牛	87.72	12.28	8.87	3.41	3.32	4.87	0.68
短角牛	87.43	12.57	8.94	3.63	3.32	4.89	0.73
瑞士褐牛	86.87	13.13	9.28	3.85	3.48	5.08	0.72
爱尔兰牛	86.97	13.03	9.00	4.03	3.51	4.81	0.68
娟姗牛	85.47	14.53	9.48	5.05	3.78	5.00	0.70
更娟牛	84.35	14.65	9.60	5.05	3.90	4.96	0.74

三、正常牛乳的主要成分及含量

牛乳中的成分受各种因素而影响，但正常牛乳基本稳定。现将正常牛乳的主要成分及含量列表 1-2-3。

表 1-2-3 正常牛乳的主要成分及含量

成 分	牛乳中含量 /(g/L)	成 分	牛乳中含量 /(g/L)
1. 水分	860~880	酪蛋白(α 、 β 、 γ)	25
2. 乳浊相中的脂质		β 乳球蛋白	3
乳脂肪(甘油三酸酯)	30~50	α -乳白蛋白	0.7
磷脂质	0.30	血清白蛋白	0.3
甾醇	0.10	免疫性球蛋白	0.3
类胡萝卜素(类胡萝卜素)	$0.10\sim0.6\times10^{-3}$	其他的白蛋白、球蛋白	1.3
维生素 A	$0.10\sim0.50$	拟球蛋白	0.3
维生素 D	0.4×10^{-6}	脂肪球膜蛋白质	0.2
维生素 E	1.0×10^{-3}	酶 类	
3. 悬浮相中的蛋白质		4. 可溶性物质	

续表

成 分	牛乳中含量 /(g/L)	成 分	牛乳中含量 /(g/L)
a. 碳水化合物		叶 酸	1.0×10^{-6}
乳 糖	45~50	胆碱(合计)	0.150
葡萄糖	0.050	维生素 B ₁₂	7.0×10^{-6}
b. 无机和有机离子及盐类		肌醇(inositol)	0.180
钙 ^①	1.25	维生素 C	0.020
镁 ^①	0.10	d. 非蛋白氮、维生素态氮	0.250
钠	0.50	(氮计算)	
钾	1.50	氨态氮	0.002~0.012
磷酸盐(以 PO ₄ 计算) ^①	2.10	氨基酸氮	0.0035
柠檬酸盐(以柠檬酸计算) ^①	2.00	尿素态氮	0.100
氯化物	1.00	肌酸(creatine)肌苷态氮	0.015
重碳酸盐	0.20	尿 酸	0.007
硫酸盐	0.10	乳清酸(orotic acid)	0.050~0.100
乳酸盐	0.02	马尿酸	0.030~0.060
c. 水溶性维生素类		尿蓝母	0.0003~0.002
维生素 B ₁	0.0004	e. 气 体	
维生素 B ₂	0.0015	二氧化碳	0.100
尼克酸(维生素 PP)	0.0002~0.0012	氧 气	0.0075
皮多素(维生素 B ₆)	0.0007	氮 气	0.015
泛 酸	0.003	f. 其 他	0.10
生物素	50×10^{-6}	5. 微量元素	
		Rb, Li, Ba, Sr, Mn, Al 等	

① 一部分以胶体状态分散。

注：引用 JENNGESS & PATTON “Principles of Dairy Chemistry” (1959)。

四、牛乳加工后各组分的名称

乳汁经处理加工后，就有各种不同的名称。例如将牛乳离心分离处理，分离出来的含脂肪多的部分为稀奶油；剩余部分称为脱脂乳。而没有经离心分离加工的牛乳称为全脂乳。将稀奶油中的脂肪取出制成奶油后，剩余部分称为乳酪。

牛乳中加酸或凝乳酶后脂肪及蛋白质中的酪蛋白部分凝固后称为生酪，或称凝块，其他剩余的透明黄绿色液体为乳清，其中含有水、乳糖、可溶性的乳清蛋白、矿物质、水溶性维生素等。从脱脂乳中分离出来的酪蛋白部分也同样称为生酪或凝块。从生酪可制成干酪。牛乳加工后各组分的名称见图 1-2-1。

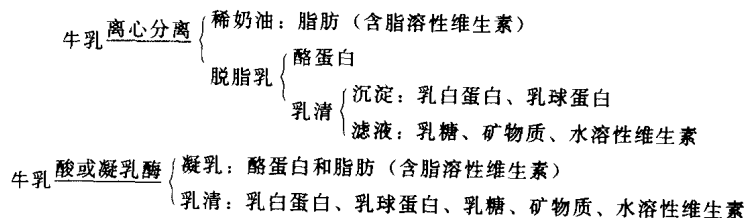


图 1-2-1 乳加工后各组分的名称

第三节 牛乳的成分及化学性质

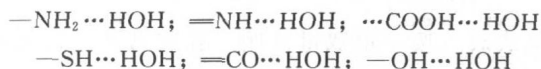
一、水分

水是牛乳中的主要成分之一，约占 87%~89%。水中溶解有有机质、矿物质和气体。

由于有作为分散介质水的存在，才使乳汁得以构成均匀而稳定的流体。牛乳中水分可分为三种：结合水、游离水、结晶水。

(一) 结合水

结合水是和乳中蛋白质、乳糖以及某些盐类结合存在，不具溶解其他物质的作用。结合水约占2%~3%，水分子(H—O—H)以氢键(—H—)和蛋白质的亲水基或和乳糖及某些盐类结合存在，化学结合水在通常水结冰的温度下并不冻结，而是在-40℃以下结冰。乳中的结合水并不发生冻结。结合水与酪蛋白亲水基的结合形式为：



存在于带电荷的胶体颗粒表面的结合水分子，由于水分子的极性，形成向水的单分子层，在单分子层上又吸附着一些微水滴，于是逐渐形成一层新的结合水见图1-3-1。

水层在加厚时胶粒愈来愈不能支持，结果围绕着微粒形成一层疏松的、扩散性的水层。外水层与胶体表面联结很弱，因此温度高时，容易和胶体分离，但内层结合水很难除去，这种现象发生在乳干燥过程中。因此在奶粉生产中任何时候也不能得到绝对脱水的产品，经常保留一部分结合水。在良好的喷雾或滚筒干燥条件下，仍保留3%左右的水分，要想除去这些多余的水分，只有借助于加热到150~160℃或者长时间保持在100~105℃的恒温时才能达到目的。但是奶粉受长时间高温处理后，乳成分受到破坏，乳糖焦化，蛋白质变性，脂肪氧化，因此这种奶粉就不能食用。乳与乳制品中结合水的数量见表1-3-1。

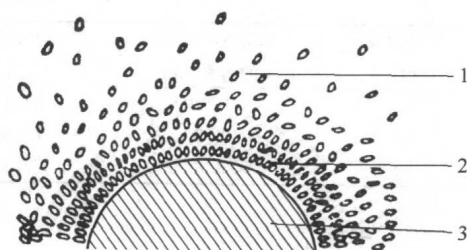


图1-3-1 乳蛋白胶体颗粒表面结合水的分布

1—疏松的结合水层；

2—水分子层；3—胶体颗粒

表1-3-1 结合水的含量

名 称	结合水含量/%	名 称	100g 物质中所含结合水量/g
乳 粉	2.0~3.5	白蛋白	1.30~1.32
脱脂乳粉	2.13~2.59	乳清蛋白	0.75
含脂率为20%的稀奶油	2.5~3.42	乳的无脂干物质	0.35
酪 乳	1.75	乳 糖	0.027
初 乳	4.62	脂 肪	0.104~0.117
脱脂炼乳	11.62	脂肪球膜物质	0.6~0.62
酪蛋白	0.60~0.69	磷 脂	5.35~6.30

(二) 游离水

游离水存在于细胞间隙和物质的毛细管中，占水的绝大部分(87%~89%)，它能溶解有机物、无机盐及气体等，是乳中的分散媒，很多理化过程及微生物学过程均与游离水有关。在100℃条件下转变成蒸汽状态，在0℃时易结冰。冻结的产品在解冻时，这部分水不很容易地蒸发除去。乳粉在干燥条件下排除的是游离水。

酸度对酪蛋白凝胶的游离水有很大的影响，这表现在酸稀奶油、酸凝乳及其他乳制品的制造中。萨维诺夫斯基(М. САВИНОВСКИЙ)曾研究酸稀奶油蛋白质游离水时pH值的变化。在pH值为4.3~4.27时最适度(4℃时)，pH值对酸凝乳的影响更大。如表1-3-2所示，只要pH值稍微改变，就会对酪蛋白发生影响。

表 1-3-2 pH 值对酸凝乳的影响

pH 值	水分/%	容积/ml	pH 值	水分/%	容积/ml
4.7	80.45	13.9	4.5	81.80	17.4
4.6	81.00	15.6			

温度对蛋白质凝胶的结合水也有影响，在一定的 pH 值下（4.5 以下）用不同的凝结温度使酪蛋白凝结，如表 1-3-3 所示。

（三）结晶水

结晶水是作为分子组成成分按一定数量比例与乳中物质结合起来的一种水分，这种结合最为稳定，存在于结晶性化合物中。当生产奶粉、炼乳以及乳糖等产品时，乳糖晶体中含有 1 分子的结晶水（ $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$ ）。

表 1-3-3 不同凝结温度对酪蛋白膨胀的影响

凝结温度 /℃	凝结后酪蛋白 的容积/ml	含水量 /%	凝结温度 /℃	凝结后酪蛋白 的容积/ml	含水量 /%
30	12.9	82.11	60	5.6	75.33
40	8.8	79.95	70	5.4	75.13
50	6.8	77.76	80	5.2	74.12

二、干物质

将牛乳干燥到恒重时所得到的剩余物叫做乳的干物质或乳固体。鲜乳中干物质含有 11%~13%。除去蒸汽挥发的物质以外，干物质中含有乳的全部成分（脂肪、蛋白质、乳糖、维生素、无机盐等）。乳中干物质的数量随乳成分的百分含量而变，尤其是乳脂肪，在乳成分中是一个比较不稳定的成分，对乳干物质含量有很大的影响。因此在实际工作中常不用干物质而用无脂干物质（非脂乳固体）作为指标。

干物质实际上说明乳的营养价值，在生产中计算产品的生产率时，都需要用乳干物质（或无脂干物质）这一数值。根据弗莱希曼（Fleischmann）的报告，乳的相对密度、含脂率和干物质含量之间存在着一定的对比关系。所以只要知道乳的密度和乳脂肪含量，即可以计算出干物质和无脂干物质的含量。

设 F 为乳脂肪质量， $S-F$ 为无脂干物质质量， $100-S$ 为水分质量， S 为乳的干物质重。因为 100 g 乳的质量等于脂肪质量、无脂干物质质量及水分质量之和。三者之间的关系可用下式表示：

$$F + (S - F) + (100 - S) = 100$$

如果已知乳的相对密度（ D ）、脂肪相对密度（ b ）、无脂干物质相对密度（ n ）和水的相对密度（ d ）时，那么代入上述方程式即可求出 100 g 乳的容积：

$$\frac{100}{D} = \frac{F}{b} + \frac{S-F}{n} + \frac{100-S}{d}$$

化简后得：

$$S = \frac{(n-b)d}{(n-d)b} \times F + \frac{n}{n-d} \times \frac{100(D-n)}{D}$$

因为乳的脂肪含量和乳的相对密度可以用简单的方法测得，同时根据德国的弗莱希曼的多次试验得出，脂肪比重（15℃/15℃）为 0.9307；非脂干物质的比重为 1.6007。确定了这些数值之后，乳的干物质（ S ）可用下列方程式求得：

$$S=1.2F+2.665 \frac{100D-100}{D}$$

英国的里奇蒙等人最精确分析大量的乳样，得出脂肪相对密度为 0.93，非脂干物质相对密度为 1.616，乳的干物质（S）可用下列方程式求得：

$$S=1.2F+2.625 \frac{100D-100}{D}$$

上列公式中所采用的是比重，而目前我国在乳品检验方面多采用相对密度（20℃/4℃）（即乳在 20℃ 时的质量与同容积水在 4℃ 时质量的比），而不是用比重（15℃/15℃）。当用相对密度计算时必须加上校正数字 0.5，即弗莱希曼的公式应改为：

$$S=1.2F+2.665 \frac{100G-100}{G}+0.5$$

式中，G 为相对密度（ $d_{20\text{℃}/4\text{℃}}$ ）。

除了测定乳的干物质可按公式计算而外，还可以计算出非脂干物质的含量（SNF）。在生产冰淇淋等一些产品进行标准化时，常常利用这个数值。非脂干物质可以根据计算出来的干物质数量减去脂肪质量求得，或按下列简化的公式求得：

$$\text{SNF}=\frac{a}{4}+\frac{F}{5}+0.26$$

式中，a 为乳比重计的度数，如用密度计的度数时需加 0.5 的校正数字。

三、牛乳中的气体

新鲜牛乳中含有气体，其中主要为 CO₂，其次为 N₂ 和 O₂。据测定，牛乳刚挤出时每升含有大约 50~60 cm³ 的气体（其中 CO₂ 占 30~60 cm³，O₂ 只有 2~7 cm³，N₂ 为 11~20 cm³）。细菌繁殖后则其他的气体如 H₂、CH₄ 等也都在乳中产生。

牛乳加工处理时与空气接触后因空气中的氧气及氮气溶入牛乳中，使氧、氮的含量增加而二氧化碳的量减少。同时使乳的酸度有些降低。由于含氧量增加，容易导致乳中维生素和脂肪发生氧化。防止措施是将牛乳在密闭管路或容器中加工处理。一般乳中气体的总量约为乳容积的 5.7%~8.6% 左右。

如果将全部气体的量作为 100 计算，则牛乳经处理后各种气体含量的变化情况见表 1-3-4 所示。牛乳在冷却处理时多用板式换热器，经过板式换热器后不仅可以除去牛乳中不愉快的气味而使牛乳的风味变好，同时使牛乳中氮气及氧气的含量增多，相反使 CO₂ 的量减少，因此使乳中可溶性的碳酸减弱，而使牛乳的酸度减低，加热处理也有同样效果，通常牛乳经冷却或加热后酸度可降低 1℃。

表 1-3-4 牛乳经处理后气体含量的变化情况

处理方法	CO ₂ /%	O ₂ /%	N ₂ /%	处理方法	CO ₂ /%	O ₂ /%	N ₂ /%
乳房内	81.50	2.42	16.54	将乳在玻璃板上流下	40.57	20.59	38.54
榨乳后	59.64	13.18	27.17	将乳在锡板上流下	35.82	20.55	44.62

四、乳脂肪

乳中脂类是指脂肪和类脂两类化合物，是乳的重要组成部分。牛乳中脂肪以小脂肪球成一种水包油型乳浊液分散在牛乳中，在乳中含量为 3%~5%，是牛乳中重要的成分之一。乳脂肪不仅与牛乳的风味有关，同时也是稀奶油、奶油、全脂乳粉及干酪等的主要成分。牛乳中的脂肪含量随乳牛的品种及其他条件而异。