

现代乳品科学与技术丛书

乳品化学

Dairy Chemistry

赵新淮
张永忠

于国萍
李铁晶

编著



科学出版社
www.sciencep.com

现代乳品科学与技术丛书

乳 品 化 学

赵新淮 于国萍 编著
张永忠 李铁晶

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

乳和乳制品是一种大众化营养食品,其营养以及质地等方面取决于它的基本化学组成和存在状态。本书从化学的基本观点出发介绍乳及乳制品中的化学问题。首先,对乳或乳制品的分散系的性质和特点进行专门介绍,系统地对乳及乳制品中的各种营养成分、有害成分的物理化学性质、功能、毒性等进行总结,全面阐述了各种成分的化学结构、组成、重要的反应和变化,以及乳品成分在乳品加工中所具有的重要作用,尤其突出了乳和乳制品的风味、安全性等重要问题。其次,重点介绍乳成分在乳制品加工过程中所发生的主要化学反应,阐述了这些变化所涉及的反应机理以及相关的调控问题。最后,专门介绍不同种类乳蛋白所常用的生产技术与应用特性。

本书可作为从事乳品科学研究与工作人员的必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

乳品化学/赵新淮等编著. —北京:科学出版社,2007

(现代乳品科学与技术丛书)

ISBN 978-7-03-018636-2

I. 乳… II. 赵… III. 乳制品-生物化学 IV. TS252.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 023521 号

责任编辑:李秀伟 吴伶伶 甄文全/责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬/封面设计:福瑞来书装

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年3月第一次印刷 印张:27

印数:1—2 000 字数:527 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

丛 书 序

乳, 为所有雌性哺乳类动物乳腺组织所分泌的液体食品, 为其幼仔的生长和发育提供必需的营养需要和重要的活性物质, 如免疫物质、生长因子、酶等。在人类驯养的动物中, 牛、马、羊、驼等生产的乳被人类作为重要的动物性食品而利用, 并在悠久的历史过程中形成了种类繁多、风味各异的乳制品。它们丰富了人类的膳食来源, 改善了人类的膳食结构, 甚至形成了独特的膳食文化。

“国以民为本, 民以食为天”。伴随着我国国民经济的前进步伐, 在 20 世纪 90 年代后期, 我国乳业得到空前发展。进入 21 世纪, 我国乳业更是日新月异, 2005 年乳牛存栏数已经达到 1280 万头, 乳类的总产量已经超过 2860 万 t, 总产值超过 862 亿元人民币。消毒乳和乳饮料、酸奶和酸奶饮料、乳粉等传统乳制品的生产迅速增加, 干酪、保健乳制品的市场正在开发之中, 人均占有量已经超过了 20 kg。我国的乳业正处于快速成长期, 一批大中型乳品生产企业迅速发展, 并在国内形成了自己的知名品牌。

东北农业大学地处我国乳业生产中心地带黑龙江省, 是我国乳品科学事业的发祥地, 也是培养我国乳品科学研究人才数量最多的高等学府, 为我国乳业的发展作出了杰出贡献。经过 58 年的建设, 现在拥有乳品科学和技术研究的两个平台: 国家乳品工程技术研究中心、乳品科学教育部重点实验室, 以及一大批优秀的人才。“博观而约取, 厚积而薄发”, 经过多年的历史积淀, 科学研究人员已经积累了大量宝贵的研究资料和学术资源。为了充分展现东北农业大学在乳品科学领域的学术地位和学术成就, 更好地培养乳品科学领域的高层次创新型人才, 保证优质、安全、可口的乳制品生产, 促进我国乳业的全面、协调、可持续发展, 在科学出版社的大力支持下, 我们组织优秀的乳品科学研究人员集结编写 (译) 了“现代乳品科学与技术丛书”。该部丛书, 首次最系统、最完整地汇集了现代乳品科学领域的理论与技术, 为从事乳品科学研究和投身乳品生产实践的科学技术人员提供了必要的参考书, 并为乳品科学研究领域的莘莘学子构建起最新颖、最完善的知识框架。编写 (译) 工作的整体完成, 将是东北农业大学食品科学和乳品科学发展史上的一个重要里程碑。

我国乳业生产方兴未艾, 其未来的发展需要乳品科学研究工作的坚强支持。东北农业大学将汇聚国内外一流乳品科学人才, 积极促进多学科的交叉与融合, 在大力开展高水平基础研究和应用研究的基础上努力实现乳品科学创新和乳品技术创新, 为我国的乳品生产和乳业的未来发展提供理论指导和技术支持。“现代

乳品科学与技术丛书”的正式出版，就是我们努力实现这一宏伟目标的具体表现。愿“现代乳品科学与技术丛书”的广大读者，通过自己的“博学、审问、慎思、明辨、笃行”，能够从中获得服务社会、造福人类的知识和技能，这才是此丛书出版的真正目的。

东北农业大学校长

李庆章教授

2006年夏于哈尔滨

前 言

近来,作为关系到万千民众生活质量的一类重要食品——乳品,其生产在我国得到空前发展,乳和各种乳制品成为许多百姓的日常膳食组成。乳和乳制品不仅能够提供优良的蛋白质、矿物质、乳糖和乳脂肪等基本营养素,还能作为一种有效的载体(如益生食品),为人类的健康提供某些有益的帮助。所以,乳和乳制品深受消费者的关注和喜爱。

乳品化学是乳品科学的重要组成部分。通过对乳和乳制品的营养价值、安全性和风味特征、感官质量等各个方面的研究,能够在分子水平上阐明乳和乳制品的化学组成,各成分的结构、性质和功能,以及各成分在加工、储藏、流通等环节中可能发生的各种化学变化、生物化学变化,以及这些变化对产品品质、安全性可能产生的影响。因此,乳品化学的基本理论和内容对乳品科学的整体建立有着不可忽略的作用,它可以使我们了解乳和乳制品的本质和特征,以及它们在加工、储藏中的变化。国际上一些著名的乳品化学家为此撰写了不同版本的乳品化学专著,为从事食品科学、乳品科学的科学技术人员专门介绍乳品化学基本理论和基本反应。爱尔兰 Fox 教授在此方面的贡献可以称得上是最具代表性的,由于其卓越的研究成果和多本乳品化学专著的问世,他已经在国际上被公认为是乳品化学方面的权威人物。相比之下,我国的食物科学家在此方面的工作则显得落后,有关的专著寥寥无几,并且在内容上缺少自己的特色或特点。

本书作者均在乳品科学教育部重点实验室(东北农业大学)从事乳品科学方面的教学与科研工作。基于我国目前缺乏乳品化学专著的现实和社会需要,我们合作编写了《现代乳品科学与技术丛书》之一——《乳品化学》,目的在于为我国乳品科学事业的发展和高水平人才的培养贡献出一份力量。为此,在参考了若干国外专著的基础上,作者阅读了大量的最新文献,精选了若干重要的问题。在风格上,力争明显区别于其他乳品化学专著,如更多的利用图示和表格数据辅助阐述相关问题,强化乳和乳制品的风味、发酵乳制品中的反应与变化等内容的介绍,强调乳基料的实际食品生产应用。在内容上,以化学反应、重要变化、相关理论和生产实际应用等为切入点,利用众多的图示、表格数据佐证,对乳和乳制品中的各种成分的化学结构与性质,它们所具有的各种作用,它们在加工储藏中可能发生的化学变化和相应控制技术,乳和乳制品的风味问题、乳制品中的一些安全性问题,以及乳基料的食物应用等不同方面,均进行了较为详细的介绍和阐述。

在编写时，各位作者所承担的编写工作分别为：赵新淮负责编写第1章、第2章2.2节、第3章3.4节的部分内容、第6章、第7章7.2节、第8章、第9章的大部分内容 and 第10章；张永忠负责编写第2章2.1节，以及第5章、第7章7.1节；于国萍负责编写第3章的大部分内容和第4章；李铁晶负责编写第9章9.1节。最后，全书由赵新淮负责统稿。

我们希望这是一本能够给读者以全新感觉的、具有自己特色的专著，能够为读者重点地、准确地介绍乳品化学方面的基本内容。但是，由于作者本身的知识、水平有限，编写中存在纰漏和错误在所难免。故此，敬请各位读者批评指正，以便我们在今后的编写工作中改正或强化有关内容。

作 者

2006年夏于哈尔滨

目 录

丛书序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 乳的生物合成	1
1.2 乳的化学组成与性质	3
1.3 乳分散体系的结构	5
1.3.1 乳分散体系的微观结构	5
1.3.2 乳分散体系的物理化学性质	8
1.3.3 乳分散体系的一些变化	9
1.4 乳业生产形势与前景	9
1.5 乳品化学在乳品科学中的地位和作用	11
第 2 章 水与乳分散体系	14
2.1 水	14
2.1.1 水的结构	14
2.1.2 水的性质	17
2.1.3 乳以及乳制品中水的存在形式	20
2.1.4 水与食品保存性	22
2.2 乳分散体系	26
2.2.1 溶液	28
2.2.2 胶体分散体系	30
2.2.3 乳浊液	36
2.2.4 泡沫	42
第 3 章 乳糖和乳脂肪	47
3.1 乳糖的合成与结构	47
3.1.1 乳糖的合成途径	47
3.1.2 乳糖的存在形式	48
3.2 乳糖的物理化学性质	51
3.2.1 乳糖的物理性质	51
3.2.2 乳糖的化学性质	56
3.3 乳糖的代谢、改性和功能性	59

3.3.1 乳糖在人体内的代谢	59
3.3.2 乳糖的衍生物	62
3.3.3 乳糖的功能性质	64
3.4 乳脂质	66
3.4.1 乳脂质的组成与结构	67
3.4.2 乳脂肪的物理化学性质	73
3.5 乳脂肪的功能作用	81
3.5.1 乳脂肪的营养学作用	81
3.5.2 乳脂肪中的活性成分	82
3.5.3 对食品质地的作用	86
第4章 乳蛋白和酶	88
4.1 乳蛋白的种类和含量	88
4.2 酪蛋白	90
4.2.1 酪蛋白的遗传变种	90
4.2.2 酪蛋白的组成	90
4.2.3 酪蛋白的特性	92
4.2.4 酪蛋白的一级结构	94
4.2.5 酪蛋白的空间结构	98
4.3 乳清蛋白	100
4.3.1 β -乳球蛋白	100
4.3.2 α -乳清蛋白	105
4.3.3 血清清蛋白	110
4.3.4 免疫球蛋白	110
4.3.5 乳铁蛋白	116
4.3.6 乳清酸蛋白	118
4.4 乳脂肪球膜蛋白	119
4.5 非蛋白含氮化合物	120
4.6 乳中蛋白质的功能性质	121
4.6.1 酪蛋白和酪蛋白盐的功能特性	121
4.6.2 乳清蛋白的作用	123
4.7 乳蛋白质的营养价值及生理作用	130
4.7.1 酪蛋白的营养价值及生理作用	131
4.7.2 乳清蛋白的营养价值及生理作用	131
4.7.3 乳清蛋白在运动营养中的作用	132
4.8 乳中的酶	133

4.8.1 乳过氧化物酶	134
4.8.2 溶菌酶	138
4.8.3 蛋白酶	139
4.8.4 磷酸酶	142
4.8.5 脂酶	144
4.8.6 超氧化物歧化酶	144
4.8.7 乳中的其他酶类	145
4.9 乳中生物活性肽	148
4.9.1 乳中自然存在的生物活性肽	149
4.9.2 牛乳蛋白源生物活性肽	151
第5章 矿物质与维生素	158
5.1 乳中的矿物质	158
5.1.1 乳中的矿物元素	158
5.1.2 乳中的盐	168
5.1.3 乳中盐溶液的性质	170
5.1.4 乳中不同分散相中盐的组成和分布	172
5.1.5 溶解相和胶体相的分离方法	178
5.1.6 乳中盐类之间的相互关系	179
5.1.7 影响乳中盐类组成多样性的因素	181
5.1.8 各种处理与盐类平衡变化	185
5.2 维生素的存在和性质	189
5.2.1 脂溶性维生素	190
5.2.2 乳中水溶性维生素	196
第6章 乳的风味	209
6.1 风味化学基础	210
6.1.1 滋味	210
6.1.2 气味	213
6.2 风味	215
6.2.1 液态乳的感官品质与非脂干物质	215
6.2.2 液态乳的香味	216
6.3 异味	218
6.3.1 饲料味和杂草味	219
6.3.2 牛棚味、脏味和酮味	221
6.3.3 咸味	222
6.3.4 氧化味	222

6.3.5	日晒味	225
6.3.6	酸败味	227
6.3.7	煮味	229
6.3.8	细菌味	230
6.3.9	外来的气味和化学气味	232
6.4	风味质量控制	233
6.4.1	风味质量控制的重要性	233
6.4.2	样品的制备	233
6.4.3	风味评价	235
6.4.4	风味缺陷的发现	236
第7章	乳中其他微量成分	239
7.1	有机酸	239
7.1.1	柠檬酸	239
7.1.2	乳酸	240
7.1.3	核酸	242
7.2	乳中污染物质	244
7.2.1	高氯酸盐	245
7.2.2	硝酸盐和亚硝酸盐	246
7.2.3	重金属	247
7.2.4	黄曲霉毒素	251
7.2.5	药物类残留物质	253
7.2.6	化学污染物质	263
第8章	热处理中乳的变化	273
8.1	梅拉德反应	274
8.1.1	梅拉德反应的历程	275
8.1.2	影响梅拉德反应因素	280
8.1.3	梅拉德反应动力学	284
8.1.4	梅拉德反应对乳品品质的影响	285
8.1.5	梅拉德反应的控制	290
8.2	蛋白质的变化与反应	291
8.2.1	酶的失活和蛋白质变化	292
8.2.2	蛋白质的交联	301
8.2.3	乳蛋白的其他反应	308
8.3	乳糖的反应	308
8.3.1	形成乳果糖	309

8.3.2	形成有机酸	310
8.3.3	发生梅拉德反应	310
8.4	维生素的降解	311
8.4.1	硫胺素的降解	311
8.4.2	抗坏血酸的降解	312
8.5	乳脂肪的变化	313
第9章	发酵乳制品	315
9.1	干酪和发酵乳制品	315
9.1.1	干酪	315
9.1.2	酸奶	322
9.2	干酪与发酵乳制品生产中的生物化学变化	325
9.2.1	干酪发酵时的生物化学变化	325
9.2.2	酸奶发酵时的物理化学变化	337
9.3	干酪与发酵乳制品的风味化合物形成	341
9.3.1	干酪的风味	341
9.3.2	酸奶的风味	352
9.4	干酪与发酵乳制品的安全性	354
9.4.1	生物胺的形成与安全性	354
9.4.2	干酪和发酵乳制品中的生物胺	356
第10章	功能性乳基料	361
10.1	功能性乳蛋白基料	361
10.1.1	乳蛋白的一般化学特征	362
10.1.2	乳蛋白的有用功能特性	364
10.1.3	乳蛋白成分的分离与分级	365
10.2	酪蛋白产品	367
10.2.1	酪蛋白的分离	367
10.2.2	酪蛋白的应用	370
10.3	乳清蛋白产品	371
10.3.1	全乳清蛋白	373
10.3.2	乳清蛋白浓缩物	374
10.3.3	乳清蛋白分离物	375
10.3.4	乳清的综合利用问题	377
10.3.5	乳清蛋白成分的改性与应用	378
10.4	全乳蛋白产品	379
10.4.1	共沉淀乳蛋白	379

10.4.2 总乳蛋白浓缩物	380
10.4.3 乳蛋白的一些食品应用	382
10.5 乳蛋白的分级组分	383
10.5.1 酪蛋白的分级	383
10.5.2 乳清蛋白组分的分级	385
10.6 生物活性蛋白与活性肽	392
10.6.1 生物活性蛋白	393
10.6.2 生物活性肽	400
参考文献	415

第1章 绪 论

乳(milk)是所有雌性哺乳类动物乳腺组织分泌的一类液体——乳汁(俗称奶),在化学上它属于胶体分散体系和乳化分散体系,其最重要的功能是能够完全满足新生儿或幼仔的营养需要,除此之外还具有其他的一些功能,如提供一些免疫物质、生长因子、酶等。虽然不同哺乳动物因其营养需求、生理需要等或多或少有些不同,所产乳类在组成上有些区别,但是它们也具有许多相同的化学组成特征。目前,人类作为食品可以利用的乳类除了来自于人类本身的人乳之外,主要来自于乳牛(奶牛)、山羊、绵羊、水牛、马等动物的乳,尤其是乳牛的。乳牛在牛犊初生后不久就开始分泌乳汁,以供小牛的生长、发育之需。一头乳牛持续泌乳的时间大约为300d,最初几天的牛乳为初乳,随后分泌的牛乳就是通常所指的牛乳,整体上这段时间为泌乳期。在乳牛下次分娩前的6~9周,乳牛一般被停止榨乳这段时间为干乳期。在乳牛再次分娩后又开始了新一轮的泌乳期。由于大量饲养乳牛,由此形成全球规模的乳业,乳制品的种类包括液态乳(鲜牛乳、脱脂乳、酸奶、乳饮料等)和固态乳(乳粉、干酪、奶油、冰淇淋等),所以来自乳牛的牛乳是加工量最大的乳类。在本书中,我们所提到的乳类,除了特指外,一般就是指健康乳牛的乳腺分泌物——牛乳。

从化学的角度上分析,乳和其制品是由水同其他的许多有机化合物、无机化合物共同组成的分散体系,不仅是它们的营养价值与这些组成含量、比例等有关,而且对于乳制品的加工、储藏过程,这些成分所产生的变化对产品品质(包括营养、风味、质地、状态等)的影响等均是不可忽视的。所以,了解乳的组成、各成分的性质和相互作用、各成分在一般加工处理中的变化及其对乳制品品质的影响作用,以及重要乳成分的利用价值等是十分必要的。这也就是在国外有多部乳品化学专著问世的原因,也是我们编写本书的目的所在。

1.1 乳的生物合成

乳是在动物的乳腺中合成的,在经过长期的遗传选育以后,乳腺成为一个效率非常高的生物合成反应器,如一些品种的乳牛在一个哺乳周期的产乳量可以达到7000 kg。图1-1给出了在不同放大倍数下的乳牛的乳腺细胞组织示意图。

乳腺产生的牛乳储存于导管中,导管的大小是越接近乳头处就越大。产生牛乳的最小单位是乳腺泡,它是一个接近于圆形的微器官,相当于一个小工厂,由

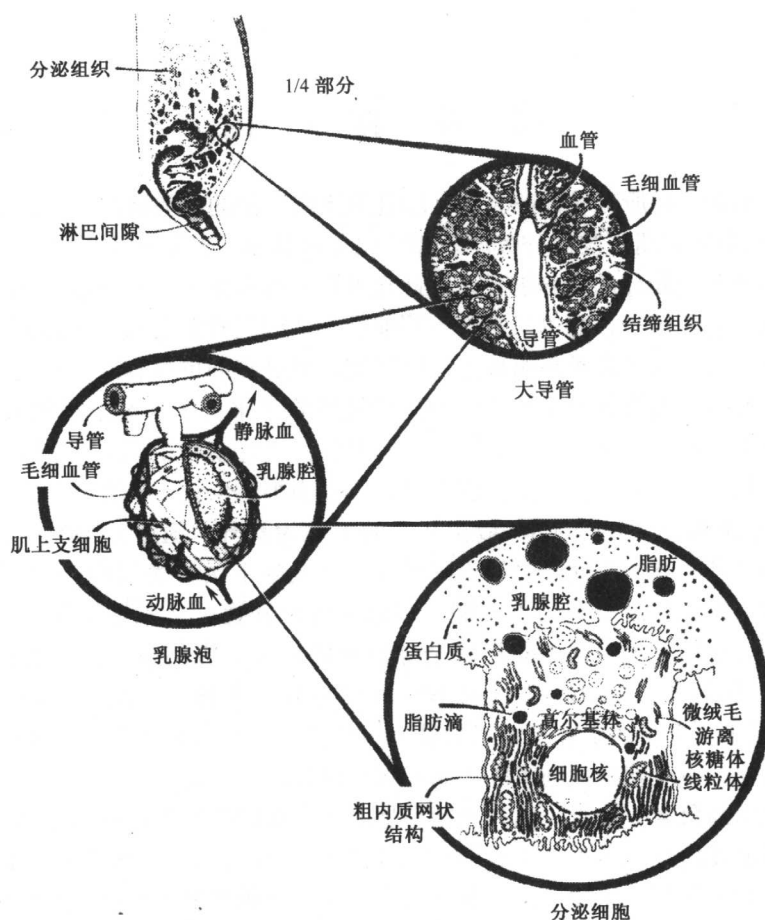


图 1-1 不同放大倍数的乳牛的乳腺细胞组织示意图

一个中心储藏器（乳腺腔）组成，储藏器上覆盖了一层具有分泌作用的上皮细胞，这些上皮细胞与导管系统相连。上皮细胞定向排列，紧靠乳腺腔的顶端具有独特的膜，细胞的基底部通过基底膜与血液和淋巴分离。如此，代谢产物能够定向运动并通过膜而进入细胞。在内质网膜生产线上，这些进入的基本成分被合成为牛乳的组成成分，所需要的能量由线粒体氧化代谢来提供。合成出来的乳成分由高尔基体储存于分泌囊中，或者是以脂肪小滴的形式储存于细胞浆中。分泌囊和脂肪小滴透过顶端的细胞膜而存储于乳腺泡腔中，而覆盖在乳腺泡腔的分泌上皮细胞层又被一层肌上皮细胞和毛细血管包裹。最后，当血液中循环的垂体激素催产素与肌上皮细胞结合时，乳腺泡就发生收缩，把储存于腺腔中的乳汁挤入导

管系统，从而得到乳。乳体系的特性、成分含量的变化均是乳腺合成与分泌的结果。

1.2 乳的化学组成与性质

组成牛乳的化学物质，从分类上看，除了含量最高的水分外，还包括蛋白质、乳糖、脂肪、盐分（矿物质）、维生素、其他的微量成分（包括一些污染成分）等。一些常见乳类的主要化学组成见表 1-1。

表 1-1 一些常见乳类的主要化学组成（单位：%）

种类	总固形物	脂肪	蛋白质	乳糖	灰分
人乳	12.2	3.8	1.0	7.0	0.2
牛乳	12.7	3.7	3.4	4.8	0.7
山羊乳	12.3	4.5	2.9	4.1	0.8
绵羊乳	19.3	7.4	4.5	4.8	0.7
水牛乳	16.8	7.4	3.8	4.8	0.8
马乳	11.2	1.9	2.5	6.2	0.5
猪乳	18.8	6.8	4.8	5.5	—
驴乳	11.7	1.4	2.0	7.4	0.5

上述的组成只是不同乳类的主要组成情况。对于牛乳，它的组成与乳牛的种类、饲养条件、泌乳期等有关。表 1-2 较详细地给出了一些国家牛乳的主要化学组成。表 1-3 给出了不同品种乳牛的牛乳生产情况。

表 1-2 一些国家牛乳的主要化学组成（单位：%）

成分	产地				总平均
	瑞典	荷兰	加拿大	美国	
水分	87.22	87.30	87.44	87.71	87.42
（范围）	(86.30~88.00)	(85.50~88.70)	(86.92~88.06)	(87.36~88.05)	
总固形物	12.78	12.70	12.56	12.29	12.58
（范围）	(2.00~13.71)	(11.30~14.50)	(11.94~13.08)	(11.95~12.64)	
非脂固形物	8.75	8.80	8.68	8.68	8.73
（范围）	(8.41~9.27)	(7.90~10.0)	(8.56~9.07)	(8.55~8.77)	
乳脂肪	4.03	3.90	3.88	3.61	3.86
（范围）	(3.50~4.61)	(2.40~5.50)	(3.49~4.00)	(3.40~3.87)	
乳糖	4.62	4.60		4.54	4.59
（范围）	(1.45~5.10)	(3.80~5.30)		(4.49~4.62)	

续表

成分	产地				总平均
	瑞典	荷兰	加拿大	美国	
总蛋白	3.33	3.25	3.28	3.27	3.28
(范围)	(3.07~3.66)	(2.3~4.4)	(3.06~3.34)	(3.13~3.38)	
酪蛋白	2.61	2.60		2.56	2.59
(范围)	(2.28~2.95)	(1.70~3.50)		(2.43~2.65)	
乳清蛋白	0.73	0.63		0.55	0.64
(范围)	(0.57~0.87)			(0.46~0.68)	
灰分	0.72	0.65		0.72	0.70
(范围)	(0.67~0.78)	(0.53~0.80)		(0.69~0.75)	

表 1-3 不同品种乳牛的牛乳生产情况

		爱尔夏	更赛牛	荷斯坦牛	娟姗牛	瑞士褐牛
一个泌乳期乳牛 的牛乳生产情况 /kg	产乳量	5205	4770	7017	4409	5766
	乳脂肪	210	234	262	228	243
	乳蛋白	176	176	225	174	208
	非脂干物质	446	432	596	408	522
	总固形物	653	667	859	637	764
	乳糖和矿物质	277	271	439	267	323
牛乳组成情况 /%	乳糖	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
	乳脂肪	3.99	4.87	3.70	5.03	4.16
	乳蛋白	3.34	3.62	3.11	3.80	3.53
	非脂干物质	8.52	9.01	8.45	9.21	8.99
	总固形物	12.55	13.94	12.19	14.39	13.2

从表 1-3 中可以看出,不同品种乳牛的产乳能力差异较大,其中荷斯坦牛的产乳能力最大。但是,从其营养组成上看,各种乳牛所产生牛乳的营养价值很接近。

在牛乳的化学组成中,乳糖(lactose)是主要的碳水化合物,其他的碳水化合物含量很少。乳糖是一个还原性双糖,由半乳糖和葡萄糖形成,它的甜度不高,因而使牛乳具有少许甜味。蛋白质一般分为酪蛋白(casein)和乳清蛋白(whey protein)两大类,其中酪蛋白占80%左右,可以在pH为4.5时沉淀,乳清蛋白在pH为4.5时不沉淀。另外还有少量的酶类和一些所谓的非蛋白氮。脂肪(milk fat)则主要是由三酰甘油酯组成,比例高达98%以上,其他的脂类化合物还有胆固醇、磷脂、脂肪衍生物等。灰分(ash)主要是指存在的无机盐、有机盐情况。牛乳中的无机盐主要是以溶解态和胶体态形式存在(如磷酸盐类就是以胶体态存在);有机盐主要是指柠檬酸盐。需要指出的是,灰分只是测定无机盐含量的一种表示方法,灰分含量不等于无机盐含量。牛乳中还存在一些其他物质,如维生素(vita-