

绪 论

一、乳的基本概念

乳是哺乳动物产犊（羔）后由乳腺分泌出的一种具有胶体特性、均匀的生物学液体。对于初生的幼犊羔来说，乳是其生长发育最完美的食物。实验证实，牛乳中的化学成分超过100种，但主要是由水、脂肪、蛋白质、乳糖、盐类、维生素、酶类等组成，其中乳糖和部分可溶性盐类在乳中以真溶液状态存在，蛋白质则与不溶性盐类形成胶体悬浮液，脂肪以乳浊液状态存在于乳中，水作为乳的分散介质。所以说，牛乳是上述三种体系构成的一种均匀稳定的胶体性溶液。乳的胶体状态及化学成分图解见图0-1。

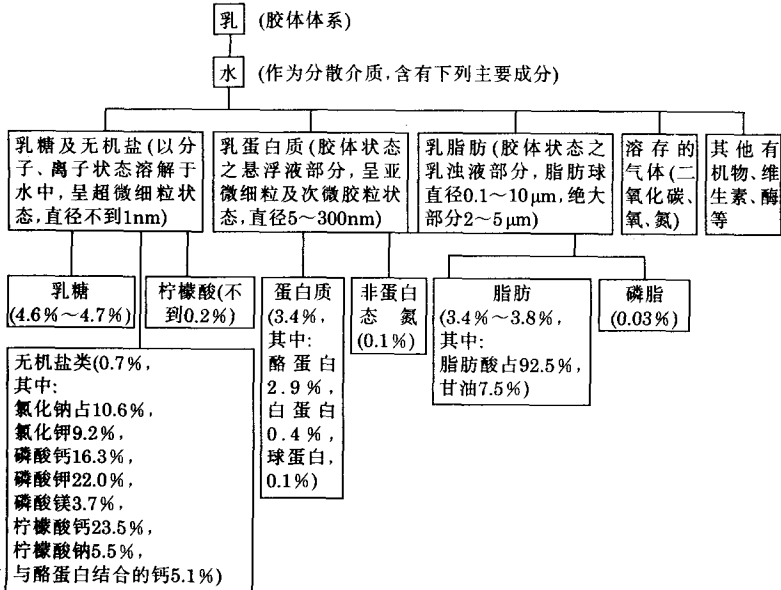


图 0-1' 乳的胶体状态及化学成分

正常乳牛的泌乳期可持续 300d 左右，涸乳期 60~65d，整个泌乳期可产乳 5 000L 左右，个别良种达 10 000L。这也正是牛乳被广泛利用的一个重要原因。泌乳期长短及产奶量的多少，会因乳牛品种、个体健康状况、乳牛年龄及饲养管理情况而不同，同时也影响牛乳的化学组成。因而，选择优良牛种，进行科学的饲养、管理，是提高养牛经济价值的关键因素。

二、牛乳加工处理后的名称及作为食品的营养价值

众所周知，母乳是婴幼儿生长发育最理想的食物。牛乳中几乎包含了人体需要的各种营养素，但与母乳相比，牛乳在各营养素配比上存在一定差距。尽管如此，就人类摄取的自然界单一食物而言，牛乳依然是人类的最接近完全的一种食物。“一杯牛奶强壮一个民族”这正是对牛乳营养价值的最好诠释。

牛乳中乳清蛋白和酪蛋白的配比不及母乳合理，乳清蛋白量偏低，而酪蛋白的氨基酸构成模式与人体蛋白质的氨基酸构成模式比较接近，因此说乳及乳制品是人类摄取优质蛋白质的重要来源。

乳脂肪与其他动物脂肪相比，含有较多的必需脂肪酸，而且短链饱和脂肪酸所占比例较高。脂肪的熔点比其他动物脂肪的熔点低，易于消化吸收，同时含有较全的脂溶性维生素，特别是维生素 A 和胡萝卜素含量高。

乳糖在自然界中只存在于乳中，对于人体具有重要的营养功能。乳糖降解后获得的半乳糖对于幼儿智力发育尤其重要，它能促进脑苷和粘多糖类的生成；另一方面，它在人体肠道内能促进有益菌乳酸菌的生长和繁殖，生成乳酸后又能有利于钙和其他矿物质的吸收。因而在婴儿配方食品中常常把乳糖引入其中，正是基于对其营养价值的科学认识。

牛乳中含有广范围的矿物质，大部分对人体的发育和代谢调节起重要作用。牛乳中对人体必需的主要矿物质种类有：钙、磷、

硫、钾、碘、氯、铁、铜、锌、镁、锰、钴等，其中尤以钙、磷、硫含量极其丰富，可作为人类获取该类矿物质的优秀来源。值得指出的是，为促进钙的吸收，必需有维生素D的参与，因而对乳制品进行强化时，维生素D亦是添加的强化剂之一。另外，牛乳中虽然含有较多种类的矿物质，但不能作为铁、铜、钴等的依靠来源。对乳制品强化时，铁同样是被强化的对象。叶酸及维生素B₁₂同样如此。

人体需要的维生素在牛乳中都可以发现，但以维生素B₂、维生素A及前体含量丰富，值得注意的是尽量减少各类维生素在加工过程中的破坏和在加工前作适当的强化是关键。

总而言之，乳是一种营养十分丰富的食物，人们为了更好地利用大自然恩赐于人类的这一美食，以乳为原料，制造出了各种各样的乳制品以满足各类人群的需求。为了便于学习，我们对牛乳加工处理后的名称，摘主要的作一梗概列举如下：

1. 消毒牛乳(或称杀菌乳)

挤奶之后所收集到的乳叫做原乳(生乳)，因为乳中染有多种微生物，不可直接饮用，必须经过杀菌消毒。将原乳经过过滤、杀菌消毒，然后冷却、灌装封口获得的产品称做消毒乳。

2. 酸牛乳

将原乳过滤、经高温短时间杀菌后冷却到一定温度，接种乳酸菌发酵剂进行恒温培养发酵所获得的一种产品称酸牛乳。该产品又分为凝固型和搅拌型两种。

3. 可可牛乳

将原乳经过预处理分离获得脱脂乳或半脱脂乳，再添加可可和糖而制成的液体乳饮料类称做可可牛乳，它比普通消毒牛乳的发热量高，且有特殊的风味。

4. 淡炼乳

将原乳经过预处理、预热杀菌，经真空浓缩去除50%以上的水分，然后经均质、冷却、灌装密封，再进行高压杀菌所获得的一种产品即淡炼乳。这种加工提高了产品的耐藏性，可直接食用，也可作

为其他食品的原料使用。

5. 甜炼乳

在牛乳中添加 15%~16% 的蔗糖 经预热杀菌 真空浓缩到原质量的 38% 左右 蔗糖含量达到 45%~45.5% 后 装罐密封所获得的一种产品即甜炼乳。该产品有一定的耐藏性，不适于婴幼儿和老年人长期饮用，一般作为其他食品加工的原料使用。

6. 全脂乳粉（淡乳粉）

全脂乳粉为将牛乳经过预处理、杀菌浓缩，通过喷雾干燥制成的粉末状产品，装罐或袋后密封，产品的耐藏性较好。在此基础上，若配料中添加蔗糖则获得全脂甜乳粉；若针对婴儿对乳成分作配料上的调整则可获得婴儿配方乳粉；如果对某些营养素进行强化，则获得强化乳粉，如加锌乳粉等。由此可见，该产品具有多种花色品种，它在我国乳制品结构中依然占有相当大的比重。

7. 冰淇淋

这是一种由乳与乳制品 加入蛋或蛋制品、甜味料、香味料、稳定剂、色素等 经混合配料、杀菌、均质、成熟、凝结、成形、硬化等工序加工而成的冷食品 是一种营养丰富、夏令时节倍受欢迎的冷饮品。

8. 奶油

将牛乳进行离心分离后获得稀奶油和脱脂乳，以稀奶油为原料 经杀菌、冷却成熟、搅拌排除酪乳后 水洗、加盐、压炼、包装即制得奶油。该产品根据是否添加发酵剂又分为酸性奶油和甜性奶油；根据加工工艺和脱水程度不同分为重制奶油和脱水奶油；除此之外还有各种花色奶油 如巧克力奶油、含糖奶油、果汁奶油等 少数民族地区传统的“奶皮子”、“乳扇子”也属该类。

9. 干酪

将牛乳预处理杀菌后，添加发酵剂和凝乳酶，使乳蛋白质形成凝块，切割后排除乳清，入模压榨后浸盐，然后在低温下成熟形成干酪。这是一种高蛋白、高脂肪食物，在成熟过程中由于微生物的作用生成了多量的维生素，风味和可消化性增强，也是人类钙、磷

硫的良好来源。干酪大体上分为三大类，即天然干酪、融化干酪和干酪食品。天然干酪的品种也有800种以上，随产地、制造方法、理化性质、形状外观等不同而异。

10. 干酪素

这是用脱脂乳为原料，经加酸点凝、排除乳清、粉碎、沸腾床干燥、筛选包装获得的一种产品。它的用途很广，可用于造纸工业、皮革工业、乳胶工业、国防工业等多个部门。

11. 乳糖

这是以乳清为原料经脱脂、乳清蛋白分离、浓缩、结晶、离心除母液并洗涤、气流干燥所获得的一种结晶状产品。这样的产品只是粗制乳糖，精制后获得精制乳糖。乳糖在食品工业、医药工业中用途很广，特别在婴儿食品中占有特殊的地位。

上述只是众多乳制品种类的一个缩影，随着科学技术的进步和人类需求的多样化，乳制品的新产品会不断涌现，这也预示着乳品工业具有不可限量的发展前景。

三、乳品加工过程的特点和分类

以乳为主要原料的乳品加工业，利用科学的工艺和技术可以制造出许许多多不同的乳制品，既可以直接供给消费者食用，也可以作为其他食品加工的原料，因此，乳品工业是食品工业的一个重要分支。与食品工业共同的是，它涉及诸如生物化学、微生物学、热力工程、机械工程等学科，较为特殊的是，它的原料的易腐性和热敏性，因而在加工过程中又有自身的特殊性，了解加工过程的特点和分类，将有利于展开我们对乳品工艺技术的学习和讨论。

图0-2表示了加工车间外部的物料转换关系，这种关系表示出：原乳的供应。工程服务系统。废弃物的排除与回收处理。最终产品的贮存与出厂。图0-3为加工车间内部物料转换情况，加工车间的预处理包括净乳、冷却、贮藏及标准化，经预处理的原料送到主要制造过程产出目标产品，同时排除并回收废弃物。

和余热回收，产品则经过包装区域包装后入库出厂。乳品工厂的工艺过程中的物料转变一般如图0-4所示，大致可以分为三个主要区段：①固态形成。②固体液体分离、净化和调节。③加热脱水及整形。

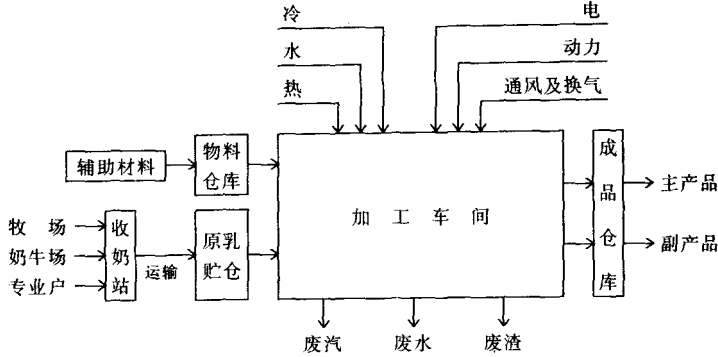


图 0-2 乳品加工车间外部的物料转换关系

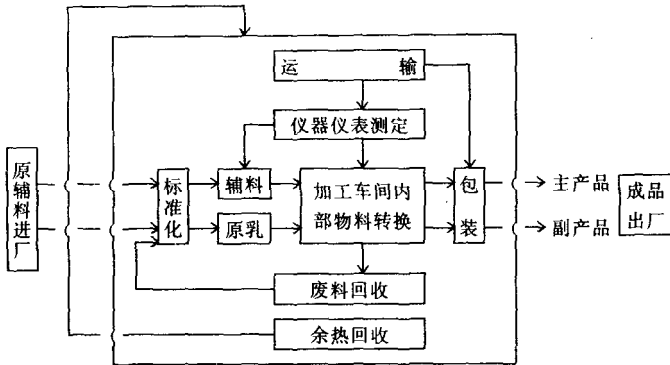


图 0-3 加工车间内部物料转换情况

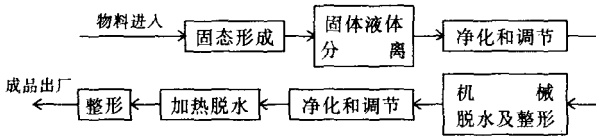


图 0-4 乳品工厂的工艺过程中的物料转变

表0-1中列出了一般乳品工厂加工过程的分类，表0-2按照

细菌和酶的控制，固体物含量的控制，化学成分及状态的控制和物理状态的控制列举了各种乳制品在加工过程中的情况。

表 0-1 一般乳品工厂加工过程的分类

	奶 油	干 酪	干酪素	乳清蛋白	乳糖	乳粉及乳清粉	炼 乳
固态形成	搅拌形成奶油粒	凝块形成和切割	凝块搅碎	加热沉淀	结晶	结晶	—
固体液体分离	排除酪乳	排除乳清	排除乳清	静置沉降	离心脱除母液	喷雾干燥排除水分	标准化
第一次净化及调节	洗涤加盐	堆放保温	水洗	水洗	水洗	—	添加稳定剂
机械脱水及整形	压 炼	加盐入模压榨	离心脱水	过滤	离心脱水	流化床附聚	—
第二次净化及调节	—	成熟	搓碎	洗涤搓碎	—	喷涂卵磷脂	—
加热脱水	—	—	沸腾床干燥	干燥	干燥	第二段干燥	浓缩
整 形	压形包装	修整	粉碎过筛	粉碎过筛	—	过筛	冷却结晶

表 0-2 一般乳品工厂加工过程的分类

	奶油	干酪	干酪素	乳清蛋白	乳糖	乳粉及乳清粉	炼乳
细菌及酶的控制	杀菌成熟	杀菌成熟	酶法凝固	—	乳糖的保护，免遭发酵	杀菌酶的破坏	杀菌酶的破坏
固体物含量的控制	含脂率	标准化	脱脂	脱酪蛋白	除蛋白质及盐类	调节脂肪含量	调节脂肪含量
化学成分及状态的控制	中和脱臭	发酵成熟度控制氨基酸及肽的种类及含量	脂 肪及凝块	pH	灰分及结晶	脂肪、糖及颗粒	脂肪、糖及稠度
物理状态的控制	脂肪结晶及盐水珠	硬度及组织状态	色泽及颗粒	色泽及颗粒	色泽及结晶	颗粒及附聚	粘度、色泽

四、乳品工艺学研究的内容、方法及意义

乳品工艺学是食品专业重要的专业技术课之一，属于应用科

学的范畴。它以化学、物理、生物化学、微生物学及化工原理等基础理论为依托，研究原料乳的成分、性质及变化，展开对各种乳制品加工工艺原理、过程控制的探讨，实现科学加工、提高产品质量、增加产出效益的目的。乳品工艺学具体内容包括：牛乳的成分及性质，市乳、酸乳、饮料、炼乳生产工艺，乳粉生产工艺，奶油生产工艺，干酪素、乳糖及乳清粉、冰淇淋生产工艺，干酪生产工艺。由于属于应用学科，注重理论联系实际是其重要的研究方法。因此，勤于实践、探索，善于总结、思考是学好本专业的必然要求。比如强调严格的卫生要求的意义，实际中如何实施，只有亲身实践才会有深切的体会，也才能依据实际情况提出有针对性的解决措施。选择学习这一专业就应该有这样的认识：乳与乳制品的人均消费量被世界各国公认为衡量一个国家人民生活水平高低的重要标志，投身这一事业为民造福，应该是人生最高尚的选择。况且，乳品工业的发展依赖于畜牧业，又刺激着畜牧业的发展和生物工程的进步，带动着包装业、机械业等的发展，潜移默化地改变着人们的饮食结构，强壮人类的体魄。因此，大力发展乳品工业并展开对其工程应用的研究、推广，无疑具有深远的历史意义。

第一章 牛乳的成分及性质

第一节 牛乳的化学成分

一、牛乳的结构和成分

鲜牛乳中含有大约 87% 的水分，在水分中溶解着各种可溶性盐类、碳水化合物、维生素和一小部分蛋白质，同时在水中还分别分散着两个胶体系统。其一是脂肪球，每个脂肪球都由极薄的脂肪球膜包围着，另一个是酪蛋白胶束，其由蛋白质分子和不溶性盐（主要是磷酸钙络合物）构成。两种胶体系统在正常情况下是稳定的，从而使乳能够形成均匀的胶体乳状液。其中的一个系统对于机械搅拌作用很敏感（例如利用搅拌制造奶油的生产过程），另一个系统对于酶的作用很敏感（例如利用凝乳酶制造干酪的生产过程）。正因为牛乳中有这两种胶体系统，所以用它能够生产出许多种类的产品作为人类的重要食品，而且还在不断寻求更加新颖的产品。

存在于乳中的两个胶体相和水相中的主要成分见表 1-1。

表 1-1 中所示是乳的内在性成分，除此之外还至少含有三种外在性成分，这就是尘埃杂质、细菌和白细胞。其含量的多少往往根据奶牛场的卫生管理水平而有很大的变动幅度。较大的尘埃杂质颗粒可以通过过滤而除去，小的尘埃颗粒、一部分细菌和白细胞可以由离心分离而除去，绝大部分细菌或全部细菌只能由加热处理的办法杀死，以达到杀菌和灭菌的目的。

乳可以看作是一种生物胶体，其脱脂乳部分是亲液胶体，由分散相（胶体分散系统中的溶质颗粒）和分散介质（胶体分散系统中的溶剂）构成。这里分散相为酪蛋白复合物，分散介质是乳浆。在大地

表 1-1

乳中胶体相和水相中的主要成分

胶体相		
脂肪	占乳之	3.8%
(1) 脂肪球(直径0.1~10 μm)		
其中三甘油酯		99.5%
甘油 二酸酯、脂肪酸、脂溶性维生素等		0.5%
(2) 脂肪球膜(厚度0.01 μm)		
其中蛋白质(包括酶类)	占脂肪球膜之	49%
磷脂		28%
甘油酯		14%
其他脂质		8%
(3) 脂溶性维生素		若干
酪蛋白胶束(直径0.005~0.3 μm)	占乳之	2.6%
(1) 酪蛋白		93%
其中 α_1 -酪蛋白		43%
β -酪蛋白		27%
κ -酪蛋白		14%
其他酪蛋白		9%
(2) 灰分		7%
钙		2.7%
磷酸根		3.6%
水相		
乳糖	占乳之	4.7%
乳清蛋白质	占乳之	0.7%
其中 β -乳球蛋白		0.51%
α -乳白蛋白		0.20%
血清白蛋白		0.05%
免疫球蛋白		0.12%
其他		0.12%
盐类	占乳之	0.7%
钙		0.05%
镁		0.01%
磷酸根		0.1%
柠檬酸		0.2%
钠		0.05%
钾		0.14%
氯		0.12%
水溶性维生素		若干

的万有引力场中是稳定的，但在离心加速度作用下会分离。这些分

散相和分散介质在正常情况下都具有极为重要的生理作用和生物功能，借助外界的力可以制成许多类型的乳制品。

牛乳是多种成分的混合物，有很大的多变性和易变性。这种易变性和多变性不仅受乳牛品种、遗传等因素的影响，而且同一品种的乳牛产的奶也受饲料、饲养条件、季节、泌乳期以及乳牛年龄和健康条件等的影响。

牛乳的成分见表1-2。

表 1-2 牛乳的主要成分

主要成分	范围/%	平均值/%
水分	85.5~89.5	87.5
总乳固体	10.5~14.5	12.5
脂肪	2.5~5.5	3.8
蛋白质	2.9~4.5	3.4
乳糖	3.6~5.5	4.6
矿物质	0.6~0.9	0.7
非脂乳固体	12.5-3.8=	8.7

二、乳 脂肪

如果将牛乳在容器中静置一段时间之后则乳脂肪逐渐上浮，形成一层脂肪层。这上浮的脂肪层为稀奶油层，下面即为脱脂乳。乳脂肪球的直径 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 呈乳状液存在于乳中。

(一) 乳脂肪的作用

乳脂肪是乳中的最主要成分之一，它在乳与乳制品中具有以下四个方面的重要作用，即营养价值、风味、物理性质和经济价值。

乳脂肪的营养价值涉及的内容很广，脂肪是一种丰富的能量来源 其发热量高 乳脂肪是脂溶性维生素 维生素A、维生素D、维生素E、维生素K等 的含有者和传递者 含有相当数量的必需脂肪酸，较其他动物性脂肪易于消化。

乳脂肪在乳制品中具有另一个重要作用是风味。乳脂肪的

丰润圆熟的风味绝非其他脂肪所能模拟。奶油、稀奶油、冰淇淋等许多乳制品中乳脂肪之所以能与其他廉价代用脂肪竞争的原因也在于此。

乳制品的组织结构状态也与乳中含有的乳脂肪具有密切关系，而且与食用时的口感、食用前的外观感觉等有连带关系。乳脂肪赋与很多乳制品的那种柔润滑腻而细致的组织状态和风味同样不能为其他脂肪所代替。

乳脂肪的经济价值是众所周知的，乳脂肪仍然较其他乳成分的价格高。

(二) 乳脂肪成分

牛乳中除含有称为真脂的脂肪之外，同时还含有很少量的磷脂（约为0.03%）及微量的甾醇和游离脂肪酸。这些成分合起来统称为乳脂质。

乳脂肪是各种脂肪酸的甘油三酯的混合物，其各种脂肪酸的含量大致如表1-3所示。

表 1-3 牛乳各种脂肪酸的含量

脂 肪 酸	分 子 式	含 量 / %
(1) $C_nH_{2n}O_2$ 之饱和脂肪酸		
丁 酸	$C_4H_8O_2$	3.5
己 酸	$C_6H_{12}O_2$	2.0
辛 酸	$C_8H_{16}O_2$	1.0
癸 酸	$C_{10}H_{20}O_2$	2.0
十二烷酸	$C_{12}H_{24}O_2$	2.5
十四烷酸	$C_{14}H_{28}O_2$	10.0
十六烷酸	$C_{16}H_{32}O_2$	25.0
十八烷酸	$C_{18}H_{36}O_2$	10.5
二十烷酸	$C_{20}H_{40}O_2$	0.5
(2) $C_nH_{2n-2}O_2$ 之不饱和脂肪酸		
癸 烯 酸	$C_{10}H_{18}O_2$	} 5.0
十二碳烯酸	$C_{12}H_{22}O_2$	
十四碳烯酸	$C_{14}H_{26}O_2$	
十六碳烯酸	$C_{16}H_{30}O_2$	
十八碳烯酸	$C_{18}H_{34}O_2$	
		33.0

续表

脂肪酸	分子式	含量/%
(3) $C_nH_{2n-4}O_2$ 之不饱和脂肪酸		
十八碳二烯酸	$C_{18}H_{32}O_2$	4.0
(4) $C_nH_{2n-6}O_2$ 之不饱和脂肪酸		
十八碳三烯酸	$C_{18}H_{30}O_2$	2.06
(5) C_{20-22} 之 不饱和脂肪酸		
		1.0

一般夏季的乳脂肪中，十八烷酸及十八碳烯酸含量较春季高；反之十二烷酸、十四烷酸及十六烷酸含量较春季低。

脂肪酸可分为三类：一是水溶性挥发性脂肪酸，其代表为丁酸、己酸、辛酸和癸酸。二是非水溶性挥发性脂肪酸，其代表为十二烷酸。三是非水溶性不挥发性脂肪酸，其代表为十四烷酸、十六烷酸、十八烷酸、二十烷酸、十八碳烯酸和十八碳二烯酸。

其中第一类的脂肪酸构成的脂肪，风味好而且易于消化吸收。一般在动植物性油脂中，乳脂肪特别是反刍动物的乳脂肪中这种脂肪酸含量高。故乳脂肪是所有食用油脂中风味最佳而易于消化的脂肪。

乳脂肪的主要理化常数如表 1-4 所示。

表 1-4 乳脂肪的主要理化常数

项 目	指 标	项 目	指 标
相对密度(d_4^{15})	0.935~0.943	水溶性挥发性脂肪酸值	21~36(约27)
熔点/°C	28~38	非水溶性挥发性脂肪酸值	1.3~3.5
凝固点/°C	15~25	酸值	0.4~3.5
折射率/ n_D^{20}	1.4590~1.4620	丁酸值	16~24(约20)
皂化值	218~235(约226)	不皂化物值	0.31~0.42
碘值	21~36(约30)		

乳脂肪的理化性质中比较重要的有4项，即溶解性挥发脂肪酸值、皂化值、碘值、非水溶性挥发性脂肪酸值等。其中溶解性挥发脂肪酸值是指中和从5g脂肪中蒸馏出来的溶解性挥发脂肪酸时所消

耗的 0.1mol/L 碱液的体积(ml)。乳脂肪的溶解性挥发脂肪酸值较其他动植物脂肪要大得多，通常椰子油的挥发性脂肪酸值为7，而一般动植物脂肪的挥发性脂肪酸值只有1。

皂化值是指每皂化1g脂肪酸所消耗的氢氧化钠的质量(mg)。碘值是指在100g脂肪中，使其不饱和脂肪酸变成饱和脂肪酸所需的碘的质量(g)。非水溶性挥发性脂肪酸值是中和5g脂肪中挥发出来的不溶于水的挥发性脂肪酸所需 0.1mol/L 碱液的体积(ml)。

总之，乳脂肪的特点是水溶性脂肪酸值高、碘值低、挥发性脂肪酸多、不饱和脂肪酸少、低级脂肪酸多，皂化值比一般脂肪高。

1. 磷脂

牛乳中磷脂含量约0.03%，其中卵磷脂含量为0.0045%~0.005%，脑磷脂含量为0.0127%~0.0156%，神经鞘磷脂含量为0.0073%~0.0084%。牛乳中磷脂的60%都存在于脂肪球膜中。牛乳经分离机分出稀奶油时，磷脂的大约70%都转移到稀奶油里。稀奶油再经过搅拌制造奶油时，则磷脂的大部分（相当于牛乳中磷脂含量的42%~45%）转移到酪乳中去。

2. 甾醇

牛乳中的甾醇类占乳脂质之不皂化物的大部分。甾醇类中几乎都是胆固醇，尚含有微量的羊毛甾醇及7-脱氢胆固醇。牛乳中胆固醇含量大约为0.01%。

3. 脂肪球膜

用电子显微镜观察脂肪球时，发现有5~10nm厚的膜覆盖着脂肪球。脂肪球膜的作用是可使脂肪球在乳中保持乳浊液的稳定性。这种膜乃是吸附于脂肪球与乳浆脱脂乳之界面间穿插排列的一群化合物，其中有蛋白质、磷脂、水不溶性高熔点甘油三酸酯、胆甾醇、维生素A、铜、铁和一些酶类（包括黄嘌呤氧化酶、醛缩酶、碱性磷酸酶等）。

乳脂质在脂肪球、脂肪球膜和乳浆中的分布情况见表1-5。

表 1-5 乳脂质在脂肪球、脂

成 分	含 量	在乳中之分布
甘油三酸酯	98%~99%*	多在脂肪球部分
磷脂类	0.2%~1.0%**	脂肪球膜及乳浆部分
甾醇类	0.25%~0.4%*	脂肪球、脂肪球膜及乳浆部分
游离脂肪酸	痕量	脂肪球及乳浆部分
蜡	痕量	脂肪球部分
脂溶性维生素类		脂肪球部分
维生素A	7.0~8.5 μg/g脂肪	
类胡萝卜素	8.0~10.0 μg/g脂肪	
维生素E	2~50 μg/g脂肪	
维生素D	痕量	
维生素K	痕量	

* 以乳脂质全质量为基础。

** 以卵磷脂计。

三、乳蛋白质

牛乳中大约含有 0.5% 的氮 其中 95% 为乳蛋白质, 5% 为非蛋白态氮。蛋白质在牛乳中的含量为 3.3%~3.5%。乳中所含蛋白质如图 1-1 所示。

(一) 酪蛋白

酪蛋白是将脱脂乳用酸调节其 pH 为 4.6, 在 20℃ 条件下沉淀的蛋白质。乳中含有 4 种不同类型的酪蛋白, 即 α_{s1} -酪蛋白、 α_{s2} -酪蛋白、 β -酪蛋白和 κ -酪蛋白, 它们的比例一般是 3 : 0.8 : 3 : 1。由于乳牛遗传类型不同, 乳中酪蛋白类型的比例是变化的。同时, α_{s1} -酪蛋白和 α_{s2} -酪蛋白分子中的某些氨基酸也常有不同程度的改变。在 pH 为 8.6 的 Tris 甘氨酸缓冲液条件下, 不同类型的酪蛋白组分可用电泳方法进行分离。

1. 酪蛋白的分类、性质

α_{s1} -酪蛋白分子中存在多个疏水性残基的区域和磷酸化形成的负电荷基团的簇状结构, 每 1mol 分子中含有 8~9 个磷酸化的残基。 α_{s2} -酪蛋白是 4 种不同蛋白质的混合物, 它们的分子中含有的

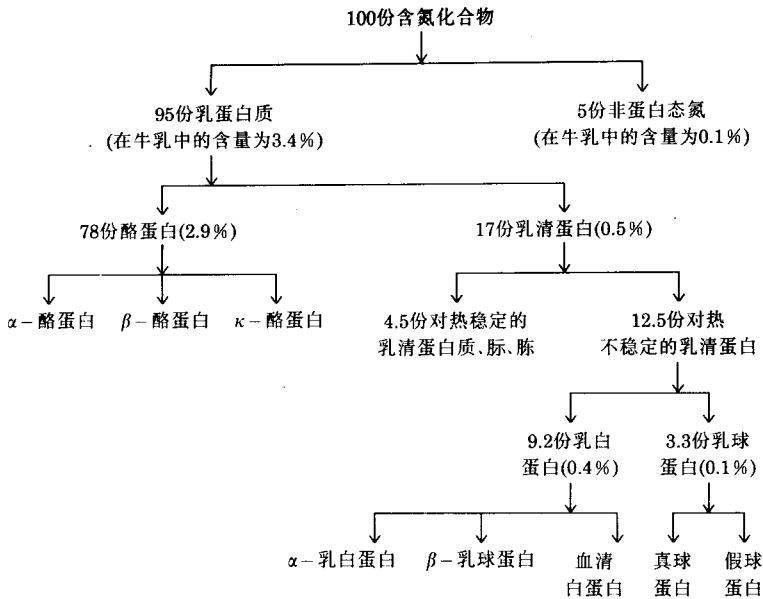


图 1-1 牛乳蛋白质分类

磷酸化残基数不同，每 1mol 蛋白质分别含有 10, 11, 12 或 13 个磷酸化的残基。 α_s -酪蛋白对钙敏感。由于磷酸基团的存在，在 pH 为 7.0 时， Ca^{2+} 可以将 α -酪蛋白沉淀出来。另外，由于 8.5% 的脯氨酸分子分布在整個肽链中，使分子中 α -螺旋量减少。 α_{s2} 酪蛋白的电荷区域位于 8~12, 56~61 位残基处。

β -酪蛋白分子中的大多数疏水基团形成一段大区域（48~209 位）多肽链的 N 末端区含有亲水的氨基酸残基和 5 个磷酸化的残基。 β -酪蛋白的电荷区域位于 14~20 位残基处。这种蛋白的三级结构是紧密排列的折叠结构，其中氨基酸极性基团位于外层表面且被水化，内部的疏水区域由非极性氨基酸构成。因此 β -酪蛋白以疏水内核的相互疏水作用形成聚集体，而 N 末端的亲水部暴露于溶剂中。

κ -酪蛋白与其他类型的酪蛋白不同，含有一个磷酸化残基，

同时存在寡糖基成分和一个二硫键结构。凝乳酶敏感键位于分子的表面。C末端片段占 κ -酪蛋白分子的1/3是强阴离子性的,含有三条寡糖链,寡糖链共价连接在 κ -酪蛋白的Thr131、Thr133和Thr135的侧链羟基上。肽键的其余2/3则是高度疏水部分。凝乳酶水解105~106残基之间的肽键后形成异 κ -酪蛋白。

2. 酪蛋白在乳中的存在状态

酪蛋白是典型的含磷蛋白质,4种酪蛋白的区别就在于它们含磷量的多寡。不同类型酪蛋白的结构具有相似性,能够自行结合成聚集体,并进一步形成胶束。酪蛋白在乳中呈现为含钙、磷酸盐的络合物粒子状态。正常乳在分泌时(38℃)所有的酪蛋白成分以分散的胶粒状态存在,胶粒的直径20~600nm(平均120nm)平均相对分子质量是 1×10^8 ,以海绵状结构存在,这有利于蛋白质水解酶进入分子的内部。酪蛋白胶束由亚基次单元体组成,这些亚基直径8~20nm通过磷酸钙 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ 相互连接在一起。由于酪蛋白胶束的存在取决于4种不同类型酪蛋白与磷酸钙之间的相互作用,因此胶束的组成和结构受温度、加工条件和pH等因素的影响。

3. 酪蛋白胶粒的不稳定性

酪蛋白是以酪蛋白磷酸钙络合物的胶粒状态存在于乳中。在乳品工业中,很多工艺过程与这种酪蛋白体系的变化有关,特别是受热、盐类、酸、凝乳酶等作用后,对粒子的凝聚具有重要关系,所以对于其组成和性质的研究,在乳品化学中占很重要的地位。乳中的酪蛋白酸盐—磷酸盐粒子与乳浆之间保持一种不稳定的平衡关系。酪蛋白在溶液中主要以其本身的电荷保持稳定状态,其与镁和钙二价离子牢固地结合,因而对周围的盐类、离子、pH与酸度等环境的变化非常敏感。在乳品工业中,很多工艺过程与酪蛋白酸盐粒子的不稳定性有关,其中有的是要使其不稳定化,有的则是设法避免其不稳定化。

(1) 酪蛋白的凝乳酶凝固 牛乳在皱胃酶或其他凝乳酶作用下,稳定体系被破坏而凝固成凝块。原理为:酪蛋白在凝乳酶的作用