

第一章 牛乳的组成、结构和形成

第一节 概 述

乳是乳畜在产犊（羔）后由乳腺分泌出的一种具有胶体特性的生物学液体。其色泽呈白色或略带黄色，不透明，味微甜并具有特有的香味。它是幼畜出生后惟一的食物，含幼畜生长发育所需的各种营养成分和保护幼畜免受感染的抗体。

乳（主要为牛乳和羊乳）和乳制品（如乳粉、酸牛乳、干酪、奶油、冰淇淋等一系列产品）已成为人类的重要食物之一。

小牛在出生前不久，母牛乳房就开始分泌乳汁。因此，小牛一出生，母牛就可以哺乳。持续泌乳的时间约为 300 天，这一阶段称为一个泌乳期。在母牛下一次分娩前 6~9 周，停止挤乳，直到分娩开始新一个泌乳期，这段时间称为干乳期。

牛乳的成分复杂且各种成分以不同状态分散在牛乳中。要了解牛乳中各组分的性质和牛乳中发生的化学变化，就需要对牛乳的组成和它们之间的相互影响有所了解。本章中乳是指健康乳牛乳腺的分泌物，不包括初乳。

第二节 乳的组成和结构

一、乳的主要成分

哺乳动物所分泌的乳的成分是各不相同的，人和一些哺乳动物的乳成分概略如表 1-1 所示。

牛乳的组成决定了它的营养性、作为食品原料的价值和其它性质。牛乳的概略组成如表 1-2 所示。牛乳的主要组分是指

牛乳中浓度较高的组分，但它们并不一定在每一方面都起到决定作用，例如牛乳中的维生素虽然含量低但在营养价值方面非常重要，酶的含量极微但它和牛乳的性质变化密切相关，一些微量组分也对牛乳的风味形成有很大的影响。

表 1-1 人和一些哺乳动物的乳成分 单位：%

成 分	人	马	乳牛	山羊	绵羊
脂肪	3.4	1.2	3.6	4.1	3.9
蛋白质	1.6	2.0	3.4	3.7	6.2
乳糖	6.4	5.8	4.6	4.6	5.0
矿物质	0.3	0.4	0.8	0.8	1.0
柠檬酸等	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2
水分	88.1	90.4	87.4	86.5	83.7
新生幼体达到其初生重 2 倍的天数	180	60	47	22	15

表 1-2 牛乳的概略组成 单位：%

组 分	平均组成	组成范围	干物质中平均组成
水	87.3	85.5~88.7	—
非脂乳固体	8.8	7.9~10.0	69
干物质中的脂肪	31	21~38	—
乳糖	4.6	3.8~5.3	36
脂肪	3.9	2.4~5.5	31
蛋白质	3.25	2.3~4.4	26
酪蛋白	2.6	1.7~3.5	20
矿物质	0.65	0.53~0.80	5.1
有机酸	0.18	0.13~0.22	1.4
其它	0.14	—	1.1

乳糖是仅在乳中存在的糖类，它是一种还原性双糖，由葡萄糖和半乳糖组成，使牛乳略带甜味，它也是微生物在牛乳中生长的主要碳源。乳中其它的碳水化合物含量甚微。

乳脂肪中包括多种脂类，其中 98% 以上是甘油三酸酯，另外

还有一些胆固醇、二羧酸甘油酯、游离脂肪酸、磷脂以及脑苷。脂肪中的脂肪酸一般包括 4~20 个碳原子，0~4 个双键。

乳蛋白通常被分为酪蛋白，其在 pH4~5 时会发生沉淀，和乳清（又称乳清蛋白）。酪蛋白大约占了总乳蛋白的 80%，乳中包含多种微量蛋白，如酶，它含量虽少却在化学反应中起重要作用，有时“蛋白质含量”仅是通过总氮含量与某常数相乘计算出来。但我们知道牛乳中大约有 5% 的氮是以小分子形式存在的，它们被称为非蛋白氮。

无机盐是牛乳中主要的矿物质，它一部分被离子化，另一部分是以复合物的状态存在。一些无机盐是以共价形式存在，如在酪蛋白中的磷酸根。无机盐的含量通常是通过灰化牛乳来测定的，然而准确地讲，灰分并不能决定乳中盐类的含量。这是由于在灰化过程中有机盐被破坏了，而一些非盐组分却留在灰分中（如氨基酸中的硫）。乳中还包含许多微量成分，在鲜乳中存在有机酸盐，其中大多是柠檬酸盐；乳中还含有许多其它复杂成分，如维生素。

总而言之，乳中大约含有十万种不同的分子，其中大多数还不为人知，就更谈不到分离出来了，即使是一些被鉴定出来的物质，它们在乳中的状态人们也不是很明了。而且不同的测定方法也会导致不同的测定结果。有时一些基本术语的概念也不是很清晰，如“赖氨酸含量”通常是指蛋白质中的赖氨酸残基而不是自由赖氨酸的含量，对于一些其它的物质也会存在同样的问题。

二、乳的结构

乳中生物物质的性质并不完全由它的组成来决定，但物理结构（如各种组分在空间的排列方式）则必须了解清楚；各个组分之间的相互作用也是极其重要的，它们将决定整个系统在各种环境下的性质。

乳是一个相对简单并已被人们深入研究的体系，它的主要结构元素是微状态和亚微状态的，如图 1-1 所示。

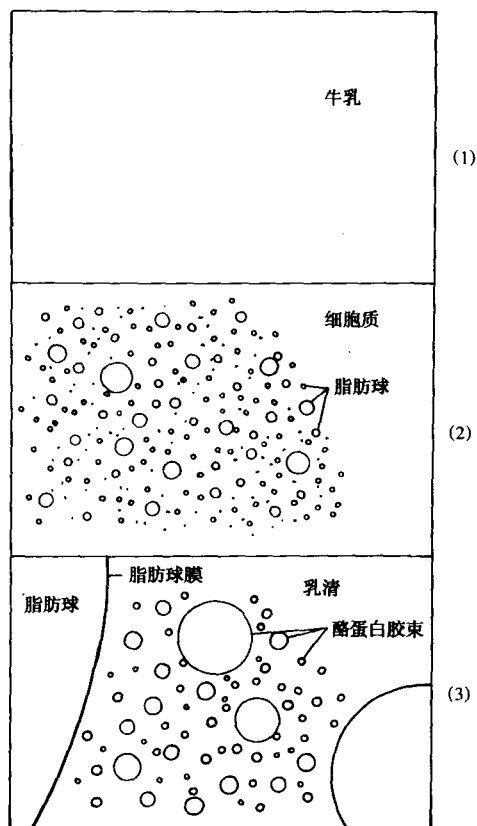


图 1-1 不同显微镜放大率下的牛乳结构示意图

注：图中 (1)→(2)→(3) 的放大率逐渐增大。

乳中的脂肪球具有的膜层要比简单的乳化液滴复杂得多，这种膜与吸附层不同，它来自于乳腺细胞的尖端外膜。膜的质量大约占了总脂肪球质量的 2%。它主要包括极性脂类、蛋白质和许多酶类。乳脂肪和脂肪球有所不同，因为在膜层中有一半是非脂类物质。乳脂的 0.4% 是在脂肪球以外的。乳的非脂部分称为乳浆，它与脱脂乳的概念不同，因为分离是无法达到彻底除去脂肪的效

果的。酪蛋白胶束中含有水、酪蛋白和盐以及一些微量组分，其中包括脂酶和蛋白酶。在溶液中仅存在少量的纯酪蛋白，它不在酪蛋白胶束中。酪蛋白在牛乳的正常 pH 条件下会与钙、镁阳离子进行结合，成为酪蛋白盐。酪蛋白胶束包含无定形磷酸钙和少量的柠檬酸盐，这通常被称为胶体性磷酸盐，这并不是因为它本身以胶体状态存在，而是胶体的一部分，这一整体被称为酪蛋白钙酪蛋白磷酸盐复合物。实际上将这一聚合体称为胶束是一个错误的叫法，它并不是在胶体意义上的胶束，但由于这一称谓已经广为接受，我们也就一直采用这一叫法。

酪蛋白胶束是由亚基和亚胶束组成的。它们通常的椭圆形直径在 10nm 左右。水，严格地说应叫做乳浆，占据了亚基之间的空隙，胶束具有开放式的结构并且每克蛋白质至少结合有 1.5g 水。

乳清的定义是乳浆除去酪蛋白胶束后所剩余的部分，在脱脂乳中加入凝乳酶并除去胶束凝块后所得到的液体叫做乳清。

乳清蛋白是存在于乳清中的蛋白质，严格地说，乳中的非胶束蛋白应称为乳清蛋白，但这一术语并不常用。乳清蛋白主要是球状蛋白，多以单体形式存在，他们同水以及一些阳离子相结合。

脂蛋白颗粒，有时称做微粒体，它们在数量、组成以及形状上有所不同，它们由细胞膜的残片、微绒毛以及其它物质组成。

体细胞主要是各种白血球，可以将其视为外源颗粒，通常直径为 10nm 每毫升牛乳中大约有十万个 约占牛乳体积的 0.005%，它们包含各种细胞质成分，主要是核酸和酶类，其中催化酶的含量较高。在一些乳中，特别是在有乳房炎的牛乳中，体细胞的含量会升高。

牛乳的结构和组成数据见表 1-3。这些数据以计算牛乳经加工和分离后所得产物的组成为依据。这些组成只能通过计算才能得到，其原因是乳的结构和组成会发生变化；乳的分离可能并不彻底 某些组分 特别是阳离子 有一部分会被结构组分所吸附 且并不是所有的水都能够作为溶剂。

表 1-3 牛乳的结构和组成数据 (1kg 牛乳中平均近似值)

脂肪球		脂肪球膜		酪蛋白胶束	
		水	80mg		
		蛋白质	350mg	蛋白质	26g
甘油酯		脂类		酪蛋白	26g
甘油三酯	38g	磷脂	210mg	蛋白胨	0.4g
甘油二酯	0.1g	脑苷脂	30mg		
甘油单酯	10mg	神经节苷脂	5mg	Ca	800mg
脂肪酸	25mg	中性甘油酯	4mg	磷酸酯	950mg
甾醇	100mg	固醇	15mg	柠檬酸盐	140mg
类胡萝卜素	0.4mg	酶		Mg、K、Na、Zn 等	150mg
维生素 A、维生素 D、 维生素 E、维生素 K	2mg	碱性磷酸酯酶	+	酶	
水	60mg	黄嘌呤氧化酶	+	脂蛋白脂肪酶	+
其它	30mg	其它	+	血纤维蛋白溶酶	+
		Cu	4 μ g	水	+
		Fe	100 μ g		
白血球		乳清		脂蛋白颗粒	
酶 如过氧化氢酶				极性脂	蛋白质酶
核酸					
水	870g	有机酸		蛋白质	
碳水化合物		柠檬酸盐	1600mg	酪蛋白	+
乳糖	46g	甲酸盐	40mg	β -乳球蛋白	3200mg
其它	0.1g	醋酸盐	30mg	α -乳白蛋白	1200mg
矿物质		乳酸盐	30mg	乳清白蛋白	400mg
Ca	370mg	草酸盐	20mg	免疫球蛋白	750mg
Mg	75mg	其它	+	蛋白胨	200mg
K	1340mg	气体		其它	400mg
Na	460mg	氧气	6mg	非蛋白氮	+
Cl	1060mg	氮气	15mg	复合物	
磷酸盐	1080mg	脂类		尿素	300mg
硫酸盐	100mg	中性甘油酯	+	肽	200mg
碳酸氢盐	100mg	脂肪酸	15mg	氨基酸	300mg
微量元素		磷脂	110mg	其它	+
Zn	400 μ g	脑苷脂	10mg	磷脂	300mg
Fe	100 μ g	固醇	15mg	酶	
Cu	20 μ g	其它	+	乳过氧化物酶	+
其它	+	维生素		酸性磷酸酯酶	+
		维生素 B	200mg	其它	
		维生素 C	20mg	乙醇	3mg

注：表中“+”表示包含有该组分。

三、乳 的 变 化

正常的牛乳中各种成分的组成基本上是稳定的，只是在数量上会有所变化，同时结构元素的化学组成、大小和稳定性以及物理性质在各种乳中也不尽相同。这可能是牛乳在挤出后发生了自然变化。导致这种变化的因素有以下几个方面：

基因性的因素，此因素是由于牛的品种和个体差异而产生的。

② 物理性的因素，这与泌乳阶段和乳牛的年龄、发情期和妊娠有关。

与环境、特别是饲料以及气候和紧张程度有关的因素。

观察表 1-2 中乳的基本组分的变化情况，发现变化最大的是脂肪，其次是蛋白质，乳糖和灰分含量相对比较稳定。牛乳在挤出后与其它牛的乳混合后进行大批量处理，这样会减少牛乳的变化性。这种批量式牛乳受到泌乳阶段、牛的品种、饲养方式、气候以及地区差异性的影响。

异常乳通常是指：

初乳 初乳是在分娩初期所产的乳，它与正常的牛乳不同 其中乳清蛋白的含量较高 而且会有部分血液。

乳房炎乳 乳房炎乳的组成更接近于血清，其白血球含量高 并且有其它的异常。

含有异物的乳 在挤乳和挤乳后可能会有异物进入，如抗菌素、杀虫剂、金属离子、磷脂和灰尘，最重要的是有微生物的混入。健康牛乳房中的乳不含微生物，适当的挤奶和处理可以避免污染，但某些微生物的混入是不可避免的。

牛乳不是一个平衡系统，即使在牛乳房中也在发生变化，因此很难区别牛乳中的天然成分和外来成分。由于条件的变化，如温度的降低，乳受污染，或暴露在光和空气中，都可能导致牛乳在刚挤出后发生比较大的变化，这些变化可以归为以下几类：

1. 物理变化

乳的物理变化包括脂肪上浮和部分脂肪的结晶。在低温下脂肪由于会聚结成为松散的大块奶油（这就是所谓的冷凝集作用），气泡在进入牛乳后形成了新的结构元素，它们会破坏脂肪球特别是在脂肪发生结晶的时候。在冷却过程中黏度会上升，一方面是由于冷凝集作用，另一方面是由于一些酪蛋白扩散到酪蛋白胶束之外而造成的。

2. 化学变化

乳的化学变化包括吸收氧气和氮气放出二氧化碳。氧气会引起脂类和其它物质的氧化，特别是维生素 C。光也会诱发化学反应。盐的组成和酸度也会随着温度的变化而变化。

3. 生物化学变化

乳的生物化学变化主要是酶催化反应。牛乳中含有很多种酶，大家熟悉的是脂肪分解反应（特别是在脂肪球已经被破坏的情况下）蛋白质水解反应和磷酸酯的水解反应。

4. 微生物变化

乳的微生物变化通常是最明显的。主要是酸败以及很多其它的变化，特别是在温度高的条件下（如 37℃）。在室温条件下，一天之内也会发生很大的变化。在 5℃ 时，放置几天后才会发现变化。

四、乳体系的构成

乳是多种物质组成的混合物，乳中各种物质相互组成分散体系，其中分散剂是水，分散质有乳糖、盐类、蛋白质、脂肪等。由于分散质种类繁多，分散度差异甚大，所以，乳并不是简单的分散体系，而是包含着真溶液、高分子溶液、胶体悬浮液、乳浊液及其过渡状态的复杂分散体系。

1. 真溶液

乳中的乳糖、水溶性盐类、水溶性维生素等呈分子或离子态分

散于乳中 形成真溶液 其微粒直径小于或接近 1nm。

2. 高分子溶液

乳白蛋白及乳球蛋白呈大分子态分散于乳中，形成典型的高分子溶液 其微粒直径约为 15~50nm。

3. 胶体悬浮液

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、性质及分散度来看，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 30~800nm 平均为 100nm。

4. 乳浊液

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 100~10 000nm。

此外 乳中含有的少量气体 部分以分子态溶于乳中 部分经搅动后在乳中呈泡沫状态。

由于乳中包含着这种分散体系，所以乳作为具有胶体特性的多级分散体系，被列为胶体化学的研究对象。

第三节 乳 的 分 泌

一、牛的乳房解剖

母牛的乳房由四个分开的乳腺组成。乳房左右两半明显地分开，而前后乳区从外部则难以看出明显的界限。

(一) 乳房的外部特征

乳房形态有盆状、碗状、圆状、山羊状等 以盆状乳房最理想；乳房充乳时底线平坦，前乳房向腹前伸延，附着有力；后乳房附着高而宽，各个乳区匀称。乳头形状也有锥状、圆柱状、梨状、杆状等 以锥状和圆状为标准 乳头的位置在各乳区中央 长短适中 粗细一致。乳头挤乳效率高的最重要特征是：大小适中，位置恰当，乳头口周围的括约肌有足够的张力。

乳房的质量和大小 因品种、年龄、泌乳期等因素而有所不同。

母牛乳房除去乳以外的净重在 11~27kg 之间 育成牛及干乳牛的乳房较小，产犊前后则乳房较大，泌乳盛期的乳房也较大。一般后乳房比前乳房大 0.5~1.0 倍，通常用前后指数来衡量乳房的对称程度，即前两乳区的产乳量占四个乳区总产乳量的百分率，为前乳房的指数（也称前后指数）。前后指数要求达 43% 以上，一般在 41% 左右。指数随品种变化，一般初胎母牛的前后指数大于二胎以上的成年母牛。

年轻乳牛的乳房紧凑，初产牛乳房较小，以后逐渐随胎次增多而增大。乳房形状、乳头形状、乳头位置、乳房静脉、乳房细致度、乳房韧带等对产乳量有一定的影响。高产牛的标志是乳房发育好 容积大、附着良好、匀称、后乳房宽而高、乳静脉粗、弯曲多、乳头口不紧

（二 乳房内部结构

乳房内部系由血液循环系统、淋巴系统、神经系统、分泌系统（腺体组织）结缔组织、贮存和运输牛乳的管道系统所组成。它们都直接或间接参与牛乳的合成。

1. 血液循环系统

乳腺动脉、腹壁前动脉和会阻动脉是乳房血液的主要来源，乳房动脉是阴部外动脉干的延续，它的直径可超过 1.5cm 通过腹股沟管进入乳房，乳房动脉形成个“乙”状弯曲，随乳房的扩张而伸长。

离开乳房的血液，主要是通过阴部外静脉和腹壁皮下静脉（乳静脉）再经体壁的开口“乳井”进入胸腔。乳静脉具有弹性 特别发达。

血液的总量和成分与产乳量有密切的关系。泌乳初期血液中血红素的含量较高，在泌乳盛期红血球的数目及血红素的百分率与产乳量高低成正相关，所以常随泌乳曲线而变化。每生产 1L 牛乳 约需 400~800L 左右的血液流经乳房，因此乳房的血管组织极为丰富，每个乳腺泡都被稠密的毛细管包围着，将吸收的养料

和氧气输送到分泌上皮细胞周围。

2. 淋巴系统

淋巴从乳房流至胸导管，最后排入前腔静脉的血液系统。分娩前后，乳房可能会发生水肿，这是因为从乳房毛细血管滤出的淋巴数量超过流回血液的数量。

乳房和其它部位的淋巴结能提高母牛的抗病能力。

3. 神经系统

乳房的神经系统由传入感觉神经纤维和传出交感神经纤维组成，后者自动调节血液流量和支配集乳导管及乳头括约肌周围的平滑肌。试验证明，在乳房供血正常的条件下，乳房的神经系统对乳房的发育和泌乳无任何作用。

4. 支持系统

结缔组织的带放散到整个乳腺以支持导管和分泌组织，它过分发达使脂肪过多，腺体组织不发达，称为肉质乳房，这种乳房的产乳量很低。乳房中乳腺组织位于结缔组织之间，乳腺在乳房中占 35%~80%。如果腺体特别发达，则结缔组织不发达，称腺质乳房，这种乳房容积大，如海绵状，挤乳前充满乳汁而膨大、有弹性挤乳后乳房质地柔软乳房缩小在乳房后侧乳镜形成许多皱褶，这是高产母牛的乳房。

韧带组织是乳房的主要支持结构，它们来自腹壁的中线伸展至两半乳房之间，与在乳房基部的外侧悬韧带相连接。因此，每一半乳房都悬挂在结缔组织的吊带上。

皮肤给乳房很少的支持，但有疏松组织（浅筋膜）覆盖在乳房外围，保护乳腺不受机械损伤和温度、化学物质、细菌的侵害。皮肤的性质与机体的机能特性有密切的关系。根据乳房的皮肤厚薄、弹性、细致可推测乳牛的生产性能和特性。

5. 分泌系统

分泌系统主要包括乳头、乳腺、乳管和乳腺泡。

乳头外面是不含汗腺和皮脂腺的无毛皮肤，底部是乳头管，一

一般为 8~12mm 长，一些细胞分泌物可以抑制细菌。

结缔组织将乳腺泡联成外形似葡萄串的乳腺小叶，乳腺小叶又集合而成较大的群，称之乳腺叶。乳腺叶是由无数乳腺泡如小管（末梢导管）连接而成的。这些小管汇成许多较大的乳导管，乳导管粗细不匀，其末端与乳池相通。整个乳房分为四个乳区，每个乳区的导管系统都有各自独立的分泌系统，并被结缔组织隔开，互不相通。

乳腺泡和末梢导管是由单层的分泌上皮细胞组成，它的外形似一粒有柄（导管）的葡萄（乳腺泡）。乳腺泡的中心是空的，称之乳腺泡腔。它的作用是：从它周围的血管中吸收所需要营养物质，在细胞内合成乳脂肪、乳蛋白质、乳糖，并将这些合成物和吸收来的矿物质、维生素、球蛋白和水等分别排到乳腺泡腔内，在乳腺泡腔内混合成乳汁。

在乳腺泡中形成的乳汁经过末梢导管，小叶导管、乳导管流入乳池中，最后通过乳头管向外排出。在乳头管的开口部分，围绕着一层括约肌，排乳速度的快慢，与括约肌的强弱和乳头管的粗细有很大关系。

二、乳成分的前体

乳中的大多数营养物在乳腺中合成。表 1-4 显示了乳成分和其在血浆中前体的关系。乳糖和主要的乳蛋白必须在乳腺中合成，不同动物的乳蛋白也存在很大的差别。乳脂肪的组成也与动物的种类有关，而且在动物体内有特定的合成部位。乳成分前体的来源是植物中的纤维素、淀粉、脂肪、矿物质和维生素。牛需要很多种维生素，如果作为饲料的植物中这些物质的含量不足，就需要额外补充。同时乳牛每天需要 3~4kg 的水。对饲料进行消化吸收的主要部位是瘤胃、小肠和肝，在瘤胃中微生物对多糖、蛋白和脂类进行消化并产生醋酸、丙酸盐和羟基丁酸盐，这些物质能被吸收到血液中，二氧化碳、甲烷则直接排出体外。脂肪酸则被用来合

成氨基酸、蛋白质和一定量的维生素。微生物本身在肠内被消化掉，并被动物体所利用。乳牛可以以纤维素、尿素、矿物质和维生素作为饲料进行乳的合成，在小肠中蛋白质被酶解成氨基酸并进入血液。脂肪水解成为脂肪酸经过再酯化后以糜乳微粒和脂蛋白的形式进入小肠绒毛通过淋巴进入血液。在反刍过程中，葡萄糖从小肠中被吸收。肝脏利用丙酸盐和氨基酸通过葡萄糖再生作用来生成葡萄糖。

表 1-4 乳成分和其在血浆中前体的关系

乳 成 分		血浆中的前体	
名 称	含量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	名 称	
水	860	水	910
乳 糖	46	葡萄糖	0.5
蛋白质			
酪蛋白	26	氨基酸	0.4
α -酪蛋白		游离氨基酸	
β -酪蛋白		游离氨基酸	
κ -酪蛋白		游离氨基酸	
γ -酪蛋白		游离氨基酸	
β -乳球蛋白	3.2		
α -乳白蛋白	1.2		
乳铁蛋白	0.1		
血清白蛋白	0.4	血清白蛋白	32
免疫球蛋白	0.7	同乳成分几乎一致的成分	15
酶	微量	氨基酸 部分维生素	
		乙酸盐	0.1
三甘油酯	38	β -羟基丁酸	0.06
磷脂	0.3	一些脂类	2
长链脂肪		长链脂肪酸	
短链脂肪		乙酸和 β -羟基丁酸	
柠檬酸盐	1.6		
Ca	1.3	Ca	0.1
P	0.9	P	0.1
Na	0.4	Na	3.4
K	1.5	K	0.3
Cl	1.1	Cl	3.5

葡萄糖是乳糖和柠檬酸盐的前体也是脂类中甘油的部分来源。乳脂中的甘油基来自于细胞吸收的三酯酸，醋酸盐、羟丁酸三酯酸是乳脂中脂肪酸残基的来源。乳蛋白中的氨基酸来自于血液中的氨基酸，乳细胞也能够合成和转化一些非必需氨基酸。乳细胞中进行合成作用的三磷酸腺苷 (ATP) 是由葡萄糖和醋酸盐在柠檬酸循环和呼吸链中的氧化作用产生的。NADPH 的还原能力是由磷酸己糖支路和异柠檬酸氧化作用生成的葡萄糖产生的。图 1-2 表明了前体吸收和乳成分产生之间的平衡，这些数据是根据羊乳得到的，但同样适用于牛乳。

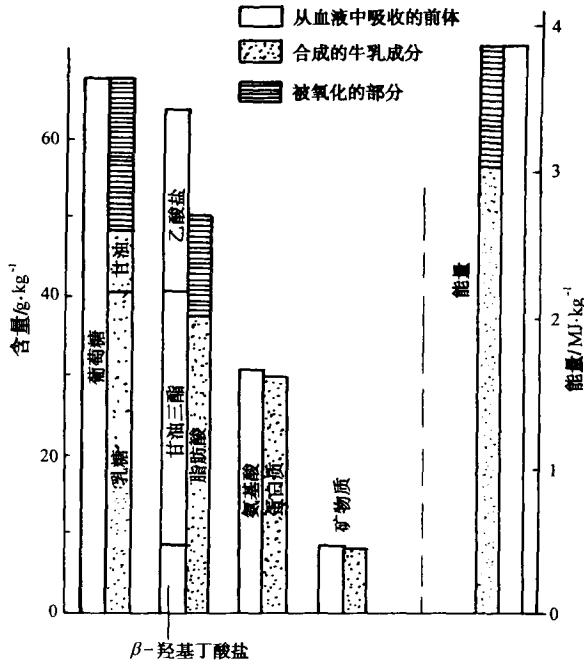


图 1-2 从血液中吸收前体和合成牛乳成分的数量关系

生产 1L 的牛乳大约需要 500L 的血液的循环才能完成。乳

腺中每克组织每天能够泌乳 2g。一克乳组织大约有 2 亿个细胞，因此每天每个细胞的产乳量为一亿分之一克。

每克乳能够产生 2.7kJ 的能量，每克乳组织每天的能量输出为 5.4kJ。乳牛的粗能量利用率约为 35%（乳的能量与饲料的能量的比值），虽然有些高产牛的利用率可达 48%。乳牛所需的最低能量是其体重的 0.75 次方 约为每天 $500^{0.75}$ kJ。在产乳时，为了分泌 1kJ 能量的乳要消耗 1.5kJ 的能量。因此，一头 500kg 重的牛生产 25kg 的牛乳需要 50MJ 来维持生命，100MJ 来产乳。

三、乳 的 分 泌

牛乳是从母牛的乳房中分泌出来的。母牛乳房是一个由纵隔分成右半部和左半部的半球体器官。每半个乳房又由一条较浅的横隔各自分为两半。每 1/4 乳房有一个乳头和一个单独的乳腺系统 见图 1-3。

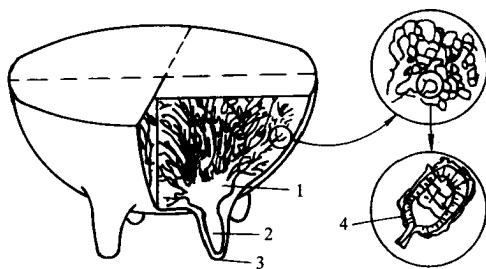


图 1-3 乳房的剖面图
1—乳窦 2—乳池 3—乳头管 4—腺泡

乳房由含有产乳细胞的乳腺组成。乳腺被包围在肌肉组织中 并与乳房结合成一体 使其在受到撞击时 得到保护而不致受损。

乳腺含有大量被称为腺泡的微小囊状组织（约 2 万亿个），真正的产乳细胞位于腺泡的内壁上，这些腺泡以 8~120 个一组的形式存在。由毛细血管从腺泡中将乳汇集到较大的输乳管，然后流入

乳头上方的一个称为乳窦的腔内。乳窦能容纳多达 400mL 的乳。乳窦延伸至乳头部分称为乳池。乳头的末端是一条 1~1.5cm 的管道。挤乳间歇期间，管道由括约肌控制闭合以防止乳汁涌出及细菌进入 如图 1-4。

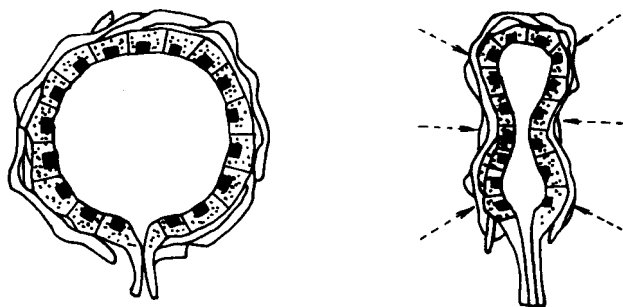


图 1-4 腺泡中乳的排出

整个乳房交织着血管和淋巴管。散布于腺泡周围的毛细血管，将来自心脏的血液中丰富的营养物质供给产乳细胞，以满足泌乳所需的营养物。输送营养物后的血液又由毛细血管流入静脉血管，并回流到心脏。每天流经乳房的血量达到 90 000L。即每生产 1L 牛乳约需 400~800L 血液流过。

乳是在复杂的激素调节下通过乳腺分泌出的一种特殊物质。乳在泌乳细胞中合成，泌乳细胞构成了泌乳上皮组织。随着体内激素水平的变化。这些细胞开始增殖并在妊娠期开始乳的生物合成。各种激素如雌性激素、黄体酮和生长激素会促进乳腺的发育。胰岛素会促进乳腺上皮细胞的分裂，皮质类固醇能促进乳生物合成细胞的细胞器的生成，促乳素对乳的分泌和泌乳期的保持具有重要作用。每个泌乳细胞都能分泌牛乳，在这些细胞中合成了许多成分，而其它成分的运输也要通过这些细胞来进行。图 1-5 中给出了腺小泡中泌乳细胞的结构，这些细胞排列在腺小泡的周围，如图 1-6 所示。前体随着血液循环从底部进入泌乳细胞，乳从细

胞的顶部分泌出来进入腺小叶的空腔。肌上皮细胞环绕在腺小泡周围。激素能够促进这些细胞的收缩使得腺小体中的乳进入乳管。腺小体由乳管连接起来将乳导至乳窦，见图1-7 在牛的乳腺

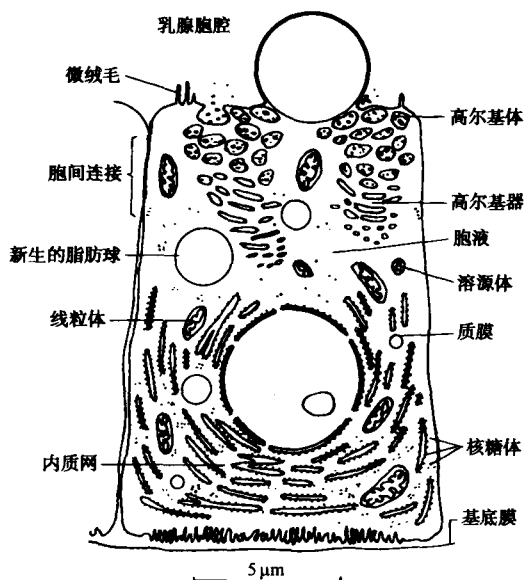


图 1-5 乳腺分泌细胞示意图

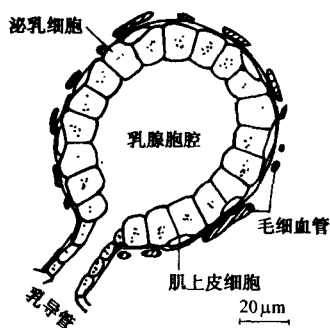


图 1-6 乳腺腔周围分泌细胞的排列

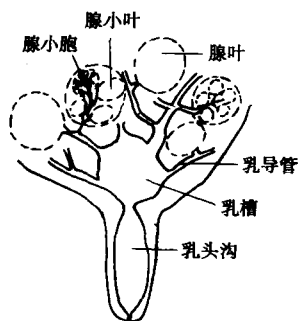


图 1-7 乳腺的示意图