

第一章 牛乳的基本知识

乳,有牛乳(又叫牛奶)、羊乳(又叫羊奶)、马乳(又叫马奶)、人乳(又叫人奶)等,但由于羊乳、马乳、人乳产量低及各种条件的限制不易形成市场规模。因此,不能广泛用于人们生活中,所以将牛奶进行详细介绍。

一、牛乳的化学组成及性质

牛乳是一种不透明的、具有胶体特性的生物学液体,是多种物质的混合物,至少有 100 种以上化学成分。但其中主要组成是水分、脂肪、蛋白质、乳糖、矿物质、维生素、酶类等,其含量见表 1。

1. 水分

水是牛乳的主要成分,是乳中其他物质的分散介质,可溶解各种可溶性盐类、碳水化合物、维生素和一部分蛋白质。它在牛乳中以下列形态存在。

(1) 牛乳中水分存在的形态

游离水(又称自由水)它是以游离状态存在或充满固

形物的毛细管中。牛乳中的水，大部分为游离水，是溶解和分散其他营养物质的溶剂。这种水在常压下，100℃时即沸腾汽化，在0℃时即可结冰。乳的许多物理化学过程中均与游离水有关。游离水借毛细管的作用可以向外或向内移动。在乳粉的干燥过程中不仅是使液滴表面的游离水蒸发，而且也可从毛细管内部进行蒸发，这种水在干燥时容易除去。

表 1 牛乳的主要成分

主要成分	含量范围(%)	平均含量(%)	备 注
水分	86.5~89.0	87.50	非脂乳固体物平均 8.7%
总乳固体物	11.0~13.5	12.25	
脂肪	2.6~5.0	3.8	
蛋白质	2.9~4.0	3.45	
乳糖	3.6~5.0	4.30	
矿物质	0.6~0.8	0.70	

结合水 由于牛乳中的胶体物质是蛋白质水化作用膨胀的结果，水分与之结合成为胶体状态。这种水分是通过氢键与蛋白质表面的亲水基、各种糖类和磷脂的亲水基相结合的，是化学结合水，无溶解其他物质的特性。在常压下，100℃时不沸腾汽化，在0℃时不结冰。在乳与乳制品中这种水含量较低，但要除去这部分水是相当困难的。如果在干燥过程中将温度提高到150~160℃时才能除去一部分。但在乳粉生产中是不允许的。因此，乳粉中总得保持一定量的水分含量。

结晶水：这种水是按一定比例作为分子组成成分与乳中物质相结合的。它同物料的结合相当稳定。在乳糖和乳粉

生产中，可以看到含有一分子结晶水的乳糖晶粒。

(2) 并乳中水分的作用

由于牛乳含有大量水分，这是牛乳的天然特性。它极易哺育幼畜，减少咀嚼。有促进消化和吸收的功能，又有高的营养价值，人们利用这种特性，逐渐扩大饮用，现已成为人们滋补的饮料，尤其对老、弱、病、幼更为适宜。

牛乳水分的另一作用是作乳的溶剂，因它除脂肪和蛋白质外，其他物质皆能溶解，如乳糖、柠檬酸、氯、钠、钾，还有部分钙、镁、磷、酸式盐及乳蛋白质等及水溶性脂肪酸。

牛乳中的水分能调节人们体内水分浓度，溶解各种食物，并起到排泄体内废物的作用。

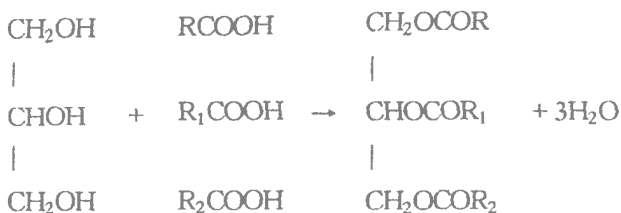
牛乳中水分作用很大，但因它含量过多，所以有不易保存、不携带、不利于运输和只能作为饮料，而产品单调等缺点。

2. 乳脂肪

牛乳的脂肪是以微细的球状态成乳浊液分散在乳中，是牛乳中重要成分之一。

(1) 乳脂肪的成分

乳脂肪不是单纯的化合物，而是各种脂肪酸的甘油三酯的混合物，其分子式如下：



甘油 + 脂肪酸 → 脂肪 (甘油三酸酯) + 水

除此之外 同时还含有很少量的磷脂、微量的甾醇和游离脂肪酸。这些成分统称为乳脂质。而磷脂中包含有卵磷脂、脑磷脂、神经磷脂。磷脂的 60% 存在于脂肪球膜中。牛乳经离心分离后 磷脂的 70% 转移到稀奶油中，在生产黄油时又大部分转移到酪乳中而损失掉。

牛乳中脂肪酸种类多达 60 余种，远比一般的脂肪为多。但很多脂肪酸含量均低于 0.1% 其总量仅相当于总脂肪量的 1%。乳脂肪中含有饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸，其中水溶性挥发性脂肪酸含量特别高 如丁酸、己酸、辛酸、癸酸等占脂肪酸总量的 9% 左右，是构成乳制品的乳脂香和适口性的主要成分。但不利的是易于吸收外来不良气味，一旦受到紫外线、空气、湿度等的影响也会引起脂肪酸败、变哈。另一类是不可溶性、非挥发性饱和脂肪酸 如十二烷酸等。第三类是非水溶性非挥发性脂肪酸，如十八碳烯酸等。因为是不可溶性非挥发性，所以受外界影响较小。这后两类总含量占 90% 以上 故对奶油的熔点、凝固点起决定性作用。

(2 乳脂肪的性质

乳脂肪的上浮

牛乳中的脂肪比重仅为 0.93 左右 以脂肪球状态分散于

乳浆中其脂肪球呈圆形或椭圆形 直径为 0.1~10 微米 脂肪球表面被一层 5~10 纳米厚的脂肪球膜保护。因此，牛乳在不同的容器内静止贮存一定的时间，脂肪逐渐上浮在牛乳表面而形成稀奶油层。其上浮速度取决于脂肪球的直径、脂肪球的密度和黏度，静止存放时间。但主要取决于脂肪球的直径大小。直径越大，上浮速度越快。这样可用静止的方法，从牛乳中分离出一部分多余脂肪。脂肪球直径小于 0.2 微米时不能分离出来，这对生产脱脂乳制品来说是不利的。但在其他乳制品生产中并无影响。

乳脂肪的败坏

牛乳脂肪对热、光、空气、酶及微生物的作用很不稳定 易发生变化败坏。

乳脂肪中的不饱和脂肪酸与空气接触时发生自行氧化作用 在 50 以下时与氧反应生产过氧化氢。此过氧化物逐渐分解破坏而形成各种氧化分解物，当温度在 50~100 ℃ 的情况下乳脂肪中的不饱和脂肪酸与氧反应，同样生成过氧化物，产生一种不快的臭味。

乳脂肪的水解

乳脂肪含低级脂肪酸较多。在低温下，乳脂肪的水解进行比较缓慢 只有在高温 200 或 10 个大气压下才能强烈地进行水解作用。但乳脂肪在解脂酶的作用下水解比较迅速，使牛乳的酸度提高 再进一步氧化生成醛、酮 使牛乳产生苦味。

磷脂的水解

磷脂在化学成分上属磷脂类 与脂肪接近 并有亲水的胶

体特性，但与脂肪有区别。乳中的磷脂水解时，得到二分子的脂肪酸（即软脂酸、硬脂酸、油酸等），一分子的甘油磷酸及一分子的胆碱。胆碱不稳定，继续分解生成甲胺、三甲胺，具有鱼腥味，使牛乳或乳粉酸败。

脑磷脂水解后的产物为脂肪酸、甘油、磷酸及胆胺乙醇。神经磷脂的水解产物为脂肪酸、胆碱、磷酸及神经氨基醇。

乳脂肪易于吸收外来气味

由于乳脂肪中含有可溶性挥发性饱和脂肪而易于吸收外来不良气味，所以在储放乳与乳油制品时要防止与鱼、虾、葱、蒜等食品放在一起，否则将会影响乳和乳制品质量。

⑥乳脂肪主要理化常数

乳脂肪的理化常数是指乳脂肪的理化性质，对牛乳的处理加工至为重要，其理化常数如表 2。

表 2 乳脂肪的理化常数

项 目	指 标	项 目	指 标
比重/(15℃)	0.925~0.943	碘值	25.7~37.9
熔点(℃)	28.4~33.3	水溶性挥发性脂肪酸值	20.6~33.1
凝固点(℃)	19.1~24.5	波伦斯克值	1.4~3.0
折射率(15℃)	1.459~1.462	皂化值	219.7~232.6
酸值	0.4~3.5	丁酸值	16~24
不皂化物	0.31~0.42		

(3)乳脂肪的作用

乳脂肪是乳和乳制品中的主要成分之一。它在乳与乳制

品中具有下列四方面的作用。

营养价值 乳脂肪的营养价值涉及的内容很广 这里只介绍一般的营养价值。

第一 乳脂肪是一个丰富的能源 其发热量高 每 1 克脂肪约产生 37.6 千焦的热量。

第二，乳脂肪含有相当数量的必需的脂肪酸。

第三 乳脂肪是脂溶性维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K 等的含有者和传递者。

第四，乳脂肪较其他动物性脂肪易于消化。

风味作用 由于乳脂肪中含有可溶性、挥发性饱和脂肪酸，即构成奶油芬芳香味和适口性。在乳制品中能显示出一种重要的风味。这种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、冰激凌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。

组织结构：由于乳制品的组织结构状态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。因此，乳脂肪赋予很多乳制品以柔润滑腻而细致的组织状态和风味 同样是不能为其他脂肪所代替。

④经济价值：乳脂肪的经济价值是众所周知的。如收购奶站收进牛乳时，有些地方仍然按含脂率高低来计算奶价。乳脂肪仍然较其他乳成分的价格高。奶油的价格也比其他乳制品的价格高得多。因此，乳脂肪在乳制品的生产和消费上具有种种实际的重要性。

3. 乳蛋白质

蛋白质是五大营养之一 是动、植物生命的基础。人可缺少脂肪和糖类 但不能缺少蛋白质,一旦缺少它 就不能维持正常生活。蛋白质来源很多 如动物的肉类、鱼虾类、谷类、麦类、豆类均有大量蛋白质,但比较起来乳蛋白质营养价值最高 最易于被人体吸收。

(1) 乳蛋白的组成

乳蛋白是由 20 余种氨基酸组成的化合物 其中包括多种人体所必需的氨基酸。所以乳蛋白是一种安全的蛋白质。

牛乳含氮物质中主要有乳蛋白质和非蛋白质的氮。乳蛋白质约占牛乳总氮量的 95% 非蛋白质氮仅占牛乳总氮量的 5%左右。牛乳中乳蛋白质的含量为 3.4%左右 是由 2.9%的酪蛋白和 0.5%左右的乳清蛋白质组成。乳清蛋白又由对热稳定的乳清蛋白质——**胨、脘**和对热不稳定的乳清蛋白质——**0.4%** 左右的乳清蛋白和 **0.7%**左右的乳球蛋白所组成。

(2) 酪蛋白质

酪蛋白又称酪朊、干酪素 是乳的主要蛋白质。系指脱脂乳在 20℃时 用酸调节 pH为 4.6时所析出的一类蛋白质,约占乳蛋白质的 80%~82% 为白色非吸湿性化合物 不溶于水、酒精及有机溶剂,但可溶于碱性溶液,比重 1.25~

1.31 其元素组成大致为:

碳:53.50% 氢:7.13% 氧:22.14% 氮:15.80% 磷:0.71% 硫:0.72%

到目前为止,已证明酪蛋白并不是单一的蛋白质。而含

有 α -酪蛋白约占 60%, β -酪蛋白约占 30%, γ -酪蛋白约占 10%。

酪蛋白属于结合蛋白质, 是典型的磷蛋白。它虽然是一种两性电解质, 但由于酪蛋白质分子中含有的酸性氨基酸比碱性氨基酸多, 所以是酸性物质。

酪蛋白与乳中的钙、镁、磷酸、柠檬酸等物质形成酪蛋白酸磷酸钙络合物。一般称为酪蛋白酸-磷酸钙胶粒。呈微细的胶粒分散于牛乳中, 胶粒大小为 30~300 纳米 大多为 40~160 纳米, 每毫升牛乳中约含酪蛋白胶粒 $(5\sim15)\times 10^{12}$ 个。

由于酪蛋白胶粒的水合作用, 使其本身带有一定的电荷, 在牛乳中保持稳定的平衡状态。因此, 牛乳中的离子种类及浓度的变化 特别是二价正离子浓度的改变或其他因素 会破坏胶粒的稳定状态, 而使胶粒产生凝集。现将影响酪蛋白胶粒稳定的因素列述如下:

① pH 值对酪蛋白胶粒的影响

酪蛋白胶粒在酸性溶液中 其微粒带正电 而在碱性溶液中带负电 当 pH 值下降至牛乳的等电点时 ($\text{pH}=4.5\sim4.6$), 酪蛋白胶粒所带的电荷相等 即微粒不带电 因而其水合作用减弱而产生凝固。当向牛乳中加酸 盐酸、硫酸、醋酸、乳酸等 或牛乳因微生物作用产生酸时 酪蛋白就开始沉淀 当 $\text{pH}=4.6$ 时 则酪蛋白胶粒完全沉淀。

一般情况下 在等电点时 沉淀的酪蛋白中不含钙 但在胶粒稳定性较差时加酸处理 当 $\text{pH}=5.2\sim5.3$ 时 酪蛋白开始沉淀 这样沉淀得到的酪蛋白中含有一定的其他物质 必将增加干酪素产品中的灰分含量。

② 盐类对酪蛋白胶粒的影响

牛乳中加入氯化钠、氯化钾或硫酸铵等盐类使其成饱和或半饱和溶液。这时酪蛋白便形成沉淀，这种沉淀的形成是由于酪蛋白胶粒的脱水或电荷被抵消所致。这种刚刚生成的沉淀是可逆的，通过稀释或再分散即可复原，但在此环境中长期静置，则将使其成为可逆的变性。

牛乳的酸度对酪蛋白胶粒的影响

牛乳因乳酸菌的作用，分解乳糖产生乳酸，当牛乳的乳酸的 $\text{pH}=4.6$ 时，酪蛋白胶粒全部沉淀。

酒精对酪蛋白胶粒的影响

正常牛乳的 $\text{pH}=6.6$ 左右，酪蛋白胶粒对一定浓度和数量的中性酒精是稳定的。但当牛乳的酸度增高时，酪蛋白胶粒对酒精的稳定性下降，随着牛乳酸度的继续增高，酪蛋白胶粒将会产生沉淀，这主要是因为酪蛋白胶粒的电荷及水膜被剥夺而产生凝集。

牛乳本身盐类的平衡状态对酪蛋白胶粒的影响

酪蛋白胶粒对牛乳中二价正离子浓度的改变十分敏感，当牛乳中钙、镁离子浓度超过正常浓度时，则将改变胶粒所带的电荷，使其凝集。当牛乳中钙、镁离子浓度过剩时，牛乳的热稳定性下降，在一定程度上影响了乳粉的溶解度。在淡炼乳生产中允许加入一定量的磷酸氢二钠或磷酸氢二钾。其目的是这些盐与上述多余的钙、镁离子作用，生成未离解的络合物，以达到较少钙、镁离子浓度的目的。同时钾和钠离子具有增强酪蛋白胶粒的水合作用及高度分散的倾向，从而提高牛乳的热稳定性。反之，当牛乳中钙、镁离子浓度不足时，酪蛋

白无法形成稳定的酪蛋白酸磷酸钙胶粒，也可能使酪蛋白产生凝集。如低酸度阳性乳是属此类型，但这种现象不多见。

(3) 乳清蛋白质

牛乳中除去酪蛋白质后所残留的为乳清蛋白质，约占乳蛋白质的 18%~20%。

乳清蛋白质中有对热不稳定的乳清蛋白和对热稳定的乳清蛋白质。

当乳清煮沸 20 分钟，pH 为 4.6~4.7 时沉淀析出的蛋白质属于对热不稳定的乳清蛋白质。约占乳清蛋白质的 81%，其中含有乳白蛋白和乳球蛋白。

乳白蛋白乳清在中性状态下加饱和硫酸铵或饱和硫酸镁时呈溶解状态而不析出的蛋白质属于乳白蛋白，约占乳清蛋白质的 68%。乳蛋白又分为 α -乳白蛋白、 β -乳球蛋白、血清白蛋白，各占乳清蛋白质的 19.7%、43.6%、4.6%。乳白蛋白加热至 72℃ 以上开始变性，加热 85℃ 保温 10 分钟则完全凝固。

乳球蛋白是乳清在中性状态下加饱和硫酸铵或饱和硫酸镁溶液盐析时，能析出而不溶解状态的乳清蛋白质属于乳球蛋白。约占乳清蛋白质的 13%。乳球蛋白又分为真球蛋白和假球蛋白两种。在酸性条件下加热 72℃ 时完全凝固。

对热稳定的乳清蛋白质有蛋白胍、蛋白胨，约占乳清蛋白质的 19%。

除此而外的脂肪球膜蛋白：脂肪球在牛乳中呈微细分散，而以膜被覆盖，此种脂肪球膜的性质，是由蛋白质与磷所构成，并与酶的混合物被吸附于脂肪球表面，有稳定牛乳混浊之

作用而对热极为敏感。牛乳以 70~75℃ 瞬间加热时 硫氢基将游离出来 而乳中的金属微量元素 可能在膜中以金属蛋白状态存在。

(4) 乳蛋白质的作用

蛋白质是细胞的主要成分 是生命的基础 是构成人体组织的基本物质。食用乳蛋白质后 经分解成各种氨基酸 易被人体吸收, 形成人体蛋白质。牛乳蛋白质是一种完全优质的蛋白质, 摄取足够的乳蛋白质, 有利于促进婴幼儿的生长发育 促使老人、病人恢复健康、增强体质。当碳水化合物及脂肪供给的热量不足时 它也是补充人体热量的来源 其发热量为每 100 克为 1 672 焦。

牛乳中的白蛋白是一种营养完全的蛋白质 易于消化 因此 在生理上有重要的作用。正常牛乳中只含有 0.5% 左右, 而初乳中则有 10%~12%, 对初生牛犊有重要的生理效用, 乳球蛋白是免疫体的携带者, 母体的免疫性可经由它而授予牛犊, 对牛犊有很大的生理意义。乳球蛋白中的真球蛋白和假球蛋白与乳的免疫性有关 也就是具有抗原的作用 所以常称为免疫球蛋白, 在初乳中较常乳中含量显著增多。

酪蛋白与乳中的钙、镁、磷酸、柠檬酸等物质形成酪蛋白酸磷酸钙络合物。呈微细的胶粒分散于牛乳中。由于酪蛋白胶粒的水合作用 使其本身带有一定的电荷 在牛乳中保持稳定的平衡状态。

各酪蛋白间的相互作用:

酪蛋白络合物有 α -酪蛋白, β -酪蛋白, γ -酪蛋白。在 0.03 mol/m^3 钙的存在下, α -酪蛋白的溶解度在任何温度均呈

现较低, γ -酪蛋白在任何温度下均是可溶, β -酪蛋白在 0 时
可溶而在 20 以上时即不溶。

α -酪蛋白与 β -酪蛋白有形成络合物的性质和相互间作用的
性质 温度越高越为显著 而带电荷的蛋白浓度 缓冲液的
离子强度没有影响。

各酪蛋白间的相互作用。以 α -酪蛋白与 γ -酪蛋白的相
互作用为最重要。此两酪蛋白的络合物在 1 时呈不安定构
造 可添钙促其解离 如此将 α -酪蛋白一部分沉淀 而 γ -酪蛋
白则残留于上澄部。但在较高温度时生成 α -酪蛋白与 γ -酪
蛋白的络合物, 添入钙时能呈稳定状态, 再降低温度促其分
解, 而很难见到有沉淀出现。 γ -酪蛋白与 β -酪蛋白之间补充
形成络合物。

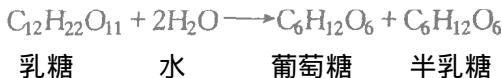
稳定的 α -酪蛋白和 γ -酪蛋白络合物中, α -酪蛋白与 γ -酪
蛋白之重量以 4:1 而分子数则以 3:1 的比例结合而成。加
入凝乳酶即可破坏这种酪蛋白集合体的稳定作用, 使酪蛋白
凝固。也可加热 110 $^{\circ}\text{C}$, 30 分钟或蛋白水解酶的作用而破坏
其 γ -酪蛋白维聚酪蛋白集合体的稳定作用。

4. 乳糖

乳糖 为牛乳中主要碳水化合物。在乳中呈溶液状态 存
在于哺乳动物的乳汁中。牛乳中含量为 4.5%~5.0% 羊乳
中含 4.0%~5.0% 人乳中含 6.0%~7.0%。因此 人乳的
甜度要大于牛、羊乳。它由碳、氢、氧元素组成 其分子式为
 $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 其中氢与氧的比例为 2:1 与水相似 故称为
碳水化合物, 堪称乳中惟一的糖类。

牛乳中乳糖颗粒细度比超微型的蛋白质、脂肪球还要细小 其直径为 $6.7 \times 10^{-10} \sim 1.1 \times 10^{-9}$ 米 是乳汁成分中含量最稳定的一种组分, 比重为 1.5。

乳糖属双糖, 其甜度相当于蔗糖的 $1/6 \sim 1/5$ 甜味温和。水解时生成一分子 α -葡萄糖和一分子 α -半乳糖 其反应式如下:



经水解反应生成的葡萄糖和半乳糖的甜度比原来的甜度提高约 4 倍。而且半乳糖能促进婴儿智力的发育, 促进肠内乳酸菌的生长而产生乳酸, 有利于婴儿对钙及其他无机盐类的吸收, 故在婴儿食品中添加平衡乳糖具有特殊的意义。

(1) 乳糖的异构体

乳糖有 α 、 β 二种异构体。而 α -型乳糖又有含水化合物和无水化合物二种。故乳糖共有三种形态存在, 一般常见的是 α -型含水乳糖。三种乳糖主要依比旋光度而区别。

① α -型含水乳糖

如果在 93.5 以下的乳糖溶液中结晶析出的为 α -型含水乳糖 在常温下最稳定 其熔点为 202°C 比旋光度为 $[\alpha]_D^{20} = +89.40^\circ$ 晶形为单斜晶系。

② α -型无水乳糖

是由 α -型含水乳糖加热至 125 或在真空状态下加热到 65 以上时 失去一分子结晶水后 而变为 α -型无水乳糖, 其性质最不稳定 稍有水分存在情况下 在 93.5°C 以下又转变为 α -型含水乳糖。在 93.5°C 以上则变为 β -型无水乳糖。

α -型无水乳糖的熔点为 223 ，比旋光度为 $[\alpha]_D^{20} = +86^\circ$ 。

③ β -型乳糖

在 93.5 以上的乳糖溶液中结晶析出的为 β -型乳糖。这种乳糖在 93.5 以上是稳定的而在 93.5 以下时稍有水即转变为 α -型含水乳糖。其熔点为 252 ℃ 比旋光度为 $[\alpha]_D^{20} = +35.5^\circ$ 。

(2)乳糖的溶解度

乳糖的溶解度远比蔗糖差，于 0 时约为蔗糖的 1/5 而在 20 时则为蔗糖的 1/10 见表 3。

表 3 乳糖与蔗糖的溶解度比较

溶解度 \ 温度(℃)	0	10	20	30	50	90
蔗 糖	179.5	190.5	203.9	219.5	260.4	414.7
乳糖(最初溶解度)	4.5	5.8	7.4	9.7	17.4	60.0
乳糖(最终溶解度)	11.9	15.1	19.2	24.8	43.7	143.9

乳糖的溶解度分为最初溶解度、最终溶解度及过量溶解度 又叫超溶解度) 三种。

乳糖的最初溶解度

将乳糖投入到一定温度的水中后，立即有一部分乳糖溶解于水中 这是乳糖的最初溶解度 也是 α -型含水乳糖的溶解度 受水温的影响变化较小。

乳糖的最终溶解度

将上述乳糖最初溶解度的溶液加以连续搅拌或震荡，再继续不断地添加乳糖则仍可溶解 最后达到饱和状态 这即是

乳糖的最终溶解度。实际上是 α -型含水乳糖和 β -型无水乳糖两种形态乳糖的溶解度的总和。

上述两种溶解度有时难以区分，特别是当水温超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时几乎难以测出其最初溶解度。因此，所谓最终溶解度乃是指 α -含水乳糖的溶解度加上 α -含水乳糖与 β -无水乳糖的平衡溶解度。也就是呈饱和状态的溶解度。它和平衡状态下 α -含水乳糖与 β -乳糖的比例是随水温的变化而不同。

过量溶解度（又称过量溶解度）

将上述乳糖饱和溶液冷却到饱和温度以下时，则生成过饱和溶液。但并未立即析出乳糖结晶。这时的溶解度称为超溶解度。如果再继续冷却时，则开始析出结晶，这时析出的结晶物为 α -无水乳糖。由于这种结晶的析出，致使 α -含水乳糖和 β -无水乳糖之间平衡被破坏，而 β -无水乳糖向 α -含水乳糖转化，再析出结晶，力图达到重新的平衡。这种结晶的析出，一直到相当于这个温度的饱和状态为止。

（3）乳糖的化学变化

氧化

乳糖与空气接触，在稀酸溶液中生成 4-酮戊酸和蚁酸。

乳糖的水溶液加热到 $100\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 吸收空气中氧时，分解而呈微棕色，并放出二氧化碳。

还原

乳糖被还原时，葡萄糖分子之醛基将被还原而生成乳糖醇，工业上以电解还原或加氢处理，产生出梨糖醇、半乳糖醇等分解物。

水解

乳糖极易被乳酸菌分解变成乳酸，来势很快。一个分子乳糖可生成四个分子乳酸，其反应过程如下式：



乳糖 水 乳酸

当牛乳挤下后，酸度逐渐增高的原因就在于此。如果牛乳的乳酸度达到 0.8%~1.0% 时即可抑制细菌的繁殖。如酸牛乳中加入适量碱类则乳酸菌又全活动起来，牛乳变酸到达适当酸度时可以抑制各种细菌的繁殖，否则乳汁会分解而腐败。

乳糖能被无机酸或 β -半乳糖苷酶作用而水解，能产生种分解物而呈现色泽，产生苦味和臭气味。

异构化

乳糖于碱液中，使其葡萄糖分子将起异构化，而变为果糖。乳糖则成乳果糖具有舒爽甜味。

加热

乳糖经高温加热时将形成乳果糖、半乳糖、乙酮糖等糖类，还形成蚁酸、乳酸等低分子有机酸。当牛乳加热时，其中之乳糖及其分解物将与蛋白或与微量尿酸起反应而变为非透析性物质，即是形成牛乳褐变的最重要因素之一。

(4)乳糖的作用

乳糖遇肠液中的乳糖酶则水解成葡萄糖和半乳糖，有促进人类的大脑及神经组织发育的功能。

多食用乳糖可助长人们大肠中嗜酸杆菌的生长发育，抑制腐败菌的生长，具有整肠作用。

乳糖较一般糖类难溶解于水，在肠胃中吸收较慢，易于