



## 乳制品行业的密度测量

### 介绍

牛奶是一种非常复杂的食物，其组成部分超过100,000种不同分子。

很多种因素都会影响生牛奶的组成，如奶牛的生育、年龄和物理因素、季节变化。

因此牛奶的基本组成就是87—88%的水和12—13%的总固体物<sup>1</sup>。总固体物包含大约4%的脂肪和9%的非固体脂肪(SNF)蛋白质、乳糖、矿物质、维他命...).

牛奶是在无脂肪乳饮料(主要是水)中添加乳脂肪。一毫升的乳品中含有最高4.6亿个乳脂肪。

### 牛奶的密度

生牛奶的密度范围在1.026-1.034g/cm<sup>3</sup>之间20 °C<sup>1</sup>。

牛奶的密度根据其组成部分的分子量得出。

下面牛奶成分的密度(20°C)主要影响了牛奶的密度<sup>1</sup>。

- 水 0.998 g/cm<sup>3</sup>
- 脂肪 0.931 g/cm<sup>3</sup>
- 蛋白质 1.451 g/cm<sup>3</sup> (饮料)
- 乳糖 1.545 g/cm<sup>3</sup> (果汁)
- 盐 3.000 g/cm<sup>3</sup>

牛奶和乳制品的密度取决于：

### » 成分

查看第3页上的表格1

### » 温度

牛奶的密度会随温度的降低而降低。牛奶中脂肪含量越高，密度随温度的变化就越大。原因是脂肪随温度的变化比水随温度的变化要大。

牛奶的温度系数在0.00027到0.00031 g/cm<sup>3</sup>/K脱脂牛奶的温度系数在0.00023到0.00028 g/cm<sup>3</sup>/K之间<sup>2</sup>。

### » 空气的参杂

空气的参杂很大程度上影响了牛奶和乳制品的密度。

空气实际上是被“困”在一些粘性乳制品中的，如酸奶。空气出来很慢或完全不出来。若内部含有空气会影响密度的测量，其重现性会很差。

### » 牛奶的特定现象

牛奶的密度会在挤奶之后缓慢地增加到达0.001 g/cm<sup>3</sup>并且在大约6个小时的时候达到一个恒定值。Recknagel发现了这个现象。密度的增加是由于牛奶中的空气的释放和乳脂的缓慢凝固。

### » 乳制品的“温度历史”

根据牛奶和乳制品的“温度历史”可以看出，密度的变化很小。

这些都是由于牛奶脂肪的不同凝固点造成的。例如，相同的乳制品在40或20摄氏下取样，在20摄氏度的测量池中测量得到的是不一样的结果。

### 密度测量的应用

生牛奶密度的测量用来做质量控制。通过测量密度，查看牛奶的成分是否含有水（填充水）或脱脂牛奶。

牛奶的密度结合脂肪含量可以计算得到总乳固体量。牛奶的密度在生产和质控方面都起到了至关重要的作用。

牛奶的变化性很大，一般自然变化会使得牛奶密度值的不确定度为0.001 g/cm<sup>3</sup> (DMA 35, DMA 500) 就足够应对常规检查了。

对于高校和国家政府单位的相关部门若想要得到更为精准的结果，可以使用DMA4100M, DMA4500M和DMA5000M。

### 牛奶的质量控制

既然牛奶是一样多元混合物，因此只测量一种成分的浓度是无法得出其密度的。

然而牛奶密度的测量能很迅速检测正常牛奶成分的偏离情况，如在牛奶中添加水。在一些国家，密度的测量用来监控生牛奶的质量。如果在牛奶中添加10%的水，那么密度将减小大约0.003 g/cm<sup>3</sup>。

由于牛奶存在较大的自然变化，只能检测到加过水的牛奶。且只有当含有至少15%水的时候才能被检测到。

若减少脂肪(脂肪越少，密度越大)和添加水(水分越多，密度越小)同时发生，那么就会得到一个“正常”的牛奶。

正是因为这个原因，密度测量并不能证明一定有人在牛奶中添加水。

但是可以用来作为一个快速检测牛奶是否偏离正常成分的方法。

便携式DMA35测量生牛奶十分便捷。

### 体积与质量的转换<sup>3</sup>

在牛奶罐装的时候，密度的测量是通过体积计算得到的。然而在部分国家是通过质量计算得到。

体积和质量之间的转换可以通过密度作为一个转换因子。

$$\text{质量} = \text{密度} \times \text{体积}$$

牛奶的密度会受到很多因素的影响，其中一个因素就是罐装过程中的空气的进入。

正因为这个原因，所以牛奶密度的测量必须是定期定点计算得到平均密度或转换因子。

调查表明，若要将牛奶的密度做为一个转换因子，就必须在罐装时的“真实”条件下测量得到。

实验结果显示，实验室里不同条件下测量不能进行比较。

密度测量作为转换因子，从体积到质量都是通过DMA35测量得到的新应用。因为它是在现场高精度地测量牛奶的密度。

### 计算总乳固体

正如之前提到的，生牛奶含有大约12-13%的总固体物，大约含有4%的脂肪和9%的非固体脂肪(蛋白质，乳糖，矿物质，维他命...)有一个直接测得牛奶密度，脂肪含量和非固体脂肪的公式。

牛奶中的脂肪含量通常都是由乳制品来决定的。结合牛奶的密度就可以通过以下公式计算总乳固体含量：<sup>4</sup>

$$t = 1.2 \times f + 266.5 \times (d - 1)/d$$

t ... 总乳固体的质量百分比

f ... 脂肪的质量百分比

d ... 15 °C下的相关密度

牛奶的脂肪含量可以通过不同方法测得，如Rose Gottlieb方法或Gerber比重方法(比重计)。

原理：牛奶脂肪含量可以通过Gerber方法快速测得。添加硫酸会破坏有机物成分；脂肪被分离，通过体积来计算。结果的单位是质量百分比，大致为0.05%。

结合用DMA35(或DMA500)测量出的牛奶密度值，总乳固体的量就能换算得到了。

### 安东帕仪器的特性和优势

#### DMA 35:

- 设计紧凑、轻便的设备
- 操作简单
- 宽大，易操作的显示界面
- 自动温度校正
- 最少样品量2到5mL
- 精度 0.001 g/cm<sup>3</sup>
- 能储存1024个结果
- 最多可以储存20个测量方法和100个样品ID

- IrDA-接口可以无限传输数据到电脑或打印机
- 坚硬的外壳
- 产品号DMA 35 Tag&Log带有选配的RFID接口能轻松读取RFID标签和更改测量方法。

**DMA 38:**

- 专为各类乳制品设计，如酸奶，奶油，...
- 操作简单
- 坚硬的外壳
- 简单的操作界面
- 最少样品量为1mL
- 样品测量温度在15 °C到40 °C
- 精度 0.001 g/cm<sup>3</sup>
- 内置帕尔贴控温装置，因此无需温度补偿
- 数据可以通过蓝牙传输到电脑或通过打印机打印出来
- 可以选择自动进样器实现自动进样

**对比方法<sup>5</sup>**

乳品行业测密度所用的比重计（乳比重计，Gerber的牛奶测试仪，Quevenne的牛奶测试仪...）或比重瓶。

除了密度，凝固点的测量也通常被用来判断牛奶中是否添加了水。

牛奶的凝固点范围通常很小，大于在-0.53到-0.55摄氏度，而这一点取决于水的含量。如果凝固点高于-0.53摄氏度，那么就说明牛奶中添加了水。

当今，乳制品实验室采用的传统方法是通过测量不同的牛奶成分的浓度。而这一方法也越来越多的被红外光谱法（IR）所替代。

红外光谱法（如Foss生产的多功能乳品分析仪）能同时测量出不同的乳制品参数，如脂肪，蛋白质，总固体物...先前的多功能乳品分析仪能与密度计联用一同测量脂肪和蛋白质含量。

多功能乳品分析仪和密度计得到的结果传输到电脑上，并做进一步计算得出总乳固体含量。

**在线密度测量**

乳制品行业的在线检测密度值已被成功运用于生产控制（牛奶标准）中。

牛奶标准化生产时，将全脂牛奶添加到脱脂牛奶中。脱脂牛奶和全脂牛奶的密度值都是已知的。密度的改变取决于添加的脂肪量，因此便可监督和控制牛奶中脂肪的含量，如4.5%的脂肪。

**表格1:** 各种乳制品包括含脂肪或非乳脂成分产品的密度值<sup>6</sup>。

产品	成分		密度 [g/cm <sup>3</sup> ]			
	脂肪 [%]	非固体脂肪 [%]	4.4 °C	10 °C	20 °C	38.9 °C
脱脂牛奶	0.02 0.02	8.9 10.15	1.036 1.041	1.035 1.040	1.033 1.038	1.026 1.031
全脂牛奶	4.0 3.6 12.25 11.3	8.95 8.6 7.75 8.9	1.035 1.033 1.027 1.031	1.033 1.032 1.025 1.030	1.030 1.029 1.020 1.024	1.023 1.022 1.010 1.014
奶油	20.0 36.6	7.2 5.55	1.021 1.008	1.018 1.005	1.012 0.994	1.000 0.978

## 参考

- 
- <sup>1</sup> "Chemie und Physik der Milch", A. Töpel, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 2. Auflage, 1981
  - <sup>2</sup> "Einfluss der Temperatur auf die Dichte von Milch zwischen 15 °C und 25 °C", M. Rüegg, U. Moor, Schweiz. Milchw. Forschung, 1985, 14(3), 7
  - <sup>3</sup> "Zur Umrechnung des Milchvolumens in Gewicht", M. Rüegg, E. Flückinger, Schweiz. Milchztg., 1987, 113(7), 7
  - <sup>4</sup> "Milk and Dairy Products", Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 589
  - <sup>5</sup> (a) AOAC Official Method 925.22, Specific gravity of milk,  
(b) AOAC Official Method 925.23, Solids (total) in milk,  
(c) AOAC Official Method 990.22, Freezing point of milk,  
(d) AOAC Official Method 980.15, Water (added) in milk
  - <sup>6</sup> Goff, H.D., Hill A.R., "Dairy Chemistry and Physics", Dairy Science and Technology Handbook, VCH Publishers, 1993, Vol.1