

# 应用报告

应用报告编号: AR 274  
行业: 食品工业  
作者: KO, CBK, MMA, TW  
日期: 03/2015



方法: 

动态泡沫分析仪-DFA100

有结构模块的 DFA100- FSM

关键词: 牛奶泡沫, 起泡能力, 泡沫稳定性, 泡沫结构, 温度依赖

## 不同奶类的起泡能力、稳定性以及所产生泡沫的结构

### 在不同温度下科学的分析牛奶泡沫

分散在可可上持久而稳定的细密泡沫, 是大多数咖啡饮用者想象中的完美牛奶咖啡或卡布奇诺的样子。用单杯奶泡出的咖啡正变得越来越受欢迎, 这和牛奶泡沫特性的研究直接相关。在这篇应用报告中, 我们总结了一篇已发表的关于牛奶泡沫的科学研究。

在研究过程中, 我们使用我们的动态泡沫分析仪 DFA100 研究了四种不同的牛奶类型(分别含 1.5%和 3.5%脂肪的巴氏灭菌牛奶和 UHT 牛奶)。测量的重点是泡沫的可发泡性和泡沫的稳定性, 两者都取决于牛奶的类型和温度。我们还从气泡尺寸和气泡尺寸分布两个方面对泡沫结构进行了分析, 以研究这些测量结果与所确定的稳定性参数之间的关系。



### 背景

牛奶中含有蛋白质, 这些蛋白质作为天然的表面活性剂, 对脂肪-水乳液的稳定性和泡沫的形成起着至关重要的作用。不同种类的牛奶被用来在饮料上产生牛奶泡沫, 因此泡沫的数量和它的稳定性取决于牛奶的性质。一方面, 脂肪含量起着作用, 而且 UHT 牛奶和巴氏杀菌牛奶的保存方法不同。此外, 发泡过程中牛奶的温度对泡沫特性有很大的影响。

### 样品和测量方法

#### 测试的样品

本文对保存在饮料纸盒中分别添加 1.5%和 3.5%脂肪含量的巴氏灭菌牛奶和超高温牛奶(UHT 牛奶)进行了研究。

## 起泡能力和泡沫稳定性的测量

测量使用了动态泡沫分析仪 DFA100。仪器利用软件控制的气体流量，在玻璃筛基座上重现泡沫液体样品。DFA100 通过一个 LED 棒和一个在线传感器，精确、及时地测量泡沫在发泡和衰减阶段的高度。在研究范围内，以最大泡沫高度为基础，以衰减半衰期为基础进行稳定性研究。所有的测量条件，如体积流量，过滤基的孔径和发泡时间，都是恒定的。每个文件中有三个测量记录了高度可重复的结果(参见图 1)。

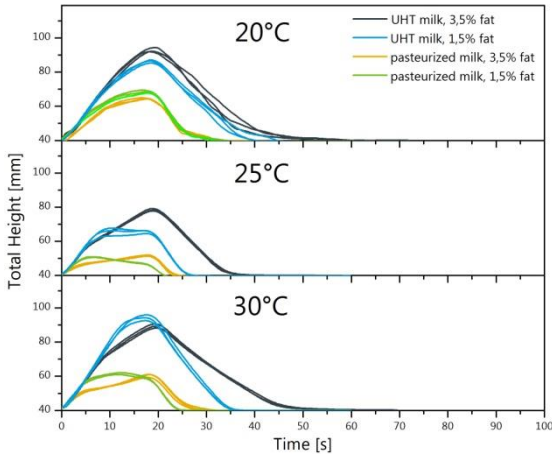


图 1:不同温度下的泡沫高度测量。这些曲线代表了每种被检测牛奶的三个测量值(图改编自[1])。

## 依赖温度的测量

泡沫分析是在 5°C到 60°C的温度下进行的。与以往的研究相比，不仅是在发泡前对液体温度进行了控制，而且在衰减阶段对泡沫量筒也进行了控制。为此目的，使用了 KRUSS 公司的 CY4503 型双壁圆筒进行温度控制测量。

## 泡沫结构分析

用泡沫结构模块 FSM 对 DFA100 的泡沫结构进行了光学测量。在这个模块中，泡沫的二维截面的视频图像通过一个棱镜捕获。

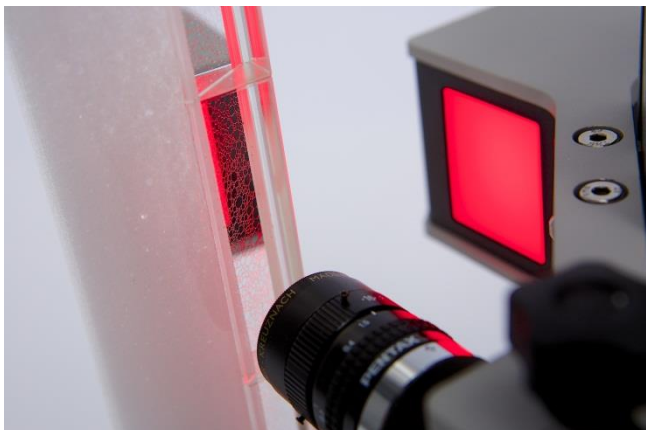


图 2:用于泡沫结构模块 FSM 上的观察泡沫润湿棱镜的相机

特殊的光学结构提供了一个在棱镜墙上清晰的泡沫。泡沫内的薄膜不会受损。

DFA100 的软件根据气泡的大小分布和平均气泡大小以及标准偏差来确定气泡的数量和大小，以及泡沫的均匀性。所有这些参数都被记录为测量时间的函数，这样就可以精确地描述衰减阶段的结构变化。

## 测量结果

### 起泡能力

在我们的研究框架内，我们成功地确认了当前研究的一些一般陈述:在低温下，UHT 牛奶比巴氏灭菌牛奶更容易起泡，半脱脂牛奶比全脂牛奶更易起泡。在较高的温度下，所有类型的牛奶都很容易起泡，样品之间的差异也趋于稳定。

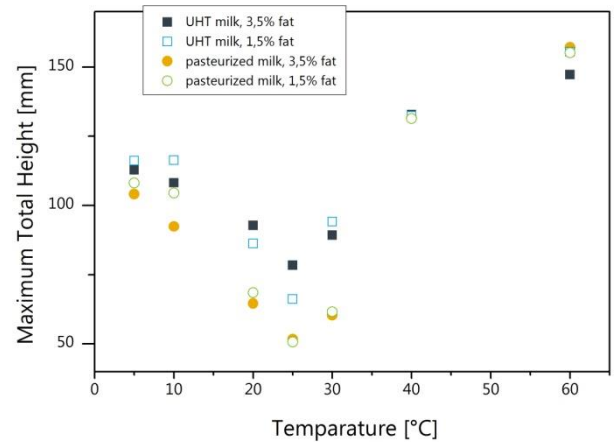


图 3:基于发泡过程中最大总高度的发泡能力研究(图改编自[1])。

从图中可以明显看出，我们的调查证实了在研究中发现的一个异常，即含脂肪牛奶的起泡性最小值出现在 25°C。作者在 ([2]) 中把这种效应归因于 25°C 下的半晶状结构脂肪球对泡沫的形成有负面影响。

### 泡沫的稳定性

在[2]中，所述的 25°C左右的最低温度只出现在发泡性方面，而不出现在泡沫稳定性方面。这是值得注意的，因为通常情况下，液体中抑制泡沫的物质也会对形成的泡沫的稳定性产生影响。

相比之下，我们的研究结果也证实了泡沫在 25°C 下的稳定性与预期一致。

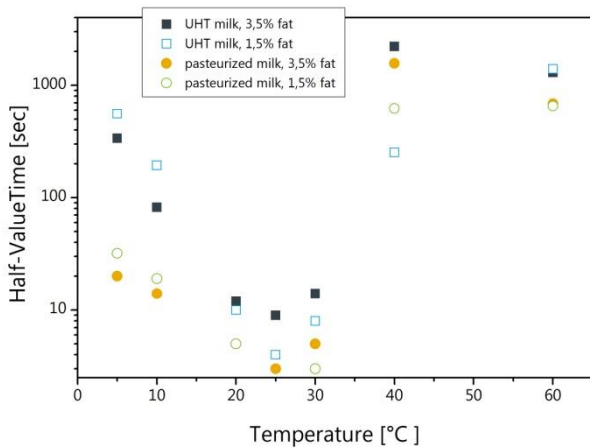


图 4:基于衰减半衰期的泡沫稳定性测量。由于样品稳定性差异较大, y 轴取对数坐标(图改编自[1])。

在我们看来, 这些不同的发现与以下事实有关:虽然[2]中的发泡是温度控制的, 但衰变行为是在没有温度控制的情况下测量的。我们认为这导致了在冷却泡沫过程中不受控制的热效应, 这是重叠的分子机制。然而, 在我们的分析中, 泡沫量筒在衰变阶段也是温度控制的。结果表明, 泡沫性能和稳定性表现出相似的温度依赖性。

虽然四种牛奶在 40°C时形成的泡沫高度几乎相同(图 3), 但这种温度下的稳定性随脂肪含量的变化而显著不同。乳脂不再影响发泡性, 实际上是稳定的。

### 泡沫结构

对于牛奶泡沫的评价, 泡沫结构在两个方面是有趣的。首先, 消费者普遍喜欢细密而质地均匀的奶泡, 这样的结构会直接带来消费者的愉悦感。其次, 稳定性还取决于气泡的大小分布。

奥斯特瓦尔德熟化是泡沫衰变的一种加速机制, 它取决于大泡和小泡之间的压力差, 小泡的数量随着时间的推移而减少, 而大泡则变大。泡沫越均匀, 气泡之间的压力差就越小, 因此奥斯特瓦尔德熟化就越慢。

泡沫结构测量结果也证实了这一关系, 如下图(5)所示:

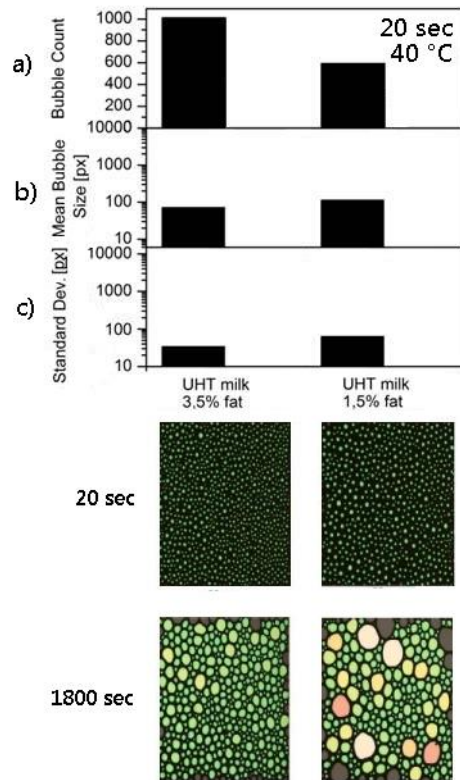


图 5:40°C下 UHT 牛奶(3.5%和 1.5%)发泡后立即产生的气泡数(a)、平均气泡大小(b)和平均值(c)的标准差。如下图所示为发泡后和 1800 s 衰减时间后的图像识别所确定的气泡(图改编自[1])。

根据泡沫高度测量, 最稳定的泡沫产生于 40°C 下的 UHT 牛奶(3.5%脂肪)(图 4)。对该泡沫的结构研究发现, 最小的泡沫与平均泡沫大小的标准偏差最小, 因此同质性最好(图 5 左)。1.5% UHT 牛奶的泡沫(右图), 在衰变测量中不稳定得多, 在发泡后呈现出较大的气泡, 且均匀性较差。1800 秒后的两幅结构图像说明了样品之间的稳定性差异。

### 总结

在研究范围内, 对四种不同生产方法(巴氏灭菌或 UHT 牛奶)和脂肪含量(3.5%和 1.5%)的牛奶样品的泡沫特性进行了研究。重点研究了温度和牛奶性质对发泡性和泡沫稳定性的影响。

正如研究文献中所述, 我们能够确认 25°C为起泡能力的最小值。通过控制泡沫量筒的温度, 我们也证明了与现有研究相反的泡沫稳定性的最小过程。

泡沫结构研究发现, 泡沫大小及其分布与泡沫稳定性之间存在一定的相关性:泡沫孔越小, 泡沫越均匀(40°C下含 3.5%脂肪的 UHT 牛奶), 同时泡沫稳定性越好。

最后, 根据测量结果可以得出一些关于牛奶泡沫产生的经验法则:

- 对于起泡的牛奶，最理想的是直接从冰箱里拿出来或者加热。牛奶在室温下不适合起泡。
- 低脂产品比全脂牛奶更受有利，用于发泡的冷牛奶 UHT 产品比巴氏灭菌牛奶。
- 大量均匀、稳定的泡沫产生于热的 UHT 全脂牛奶。

该应用报告的主要参考[1]包含了所有的细节，如进一步的个别结果、样本的确切性质和泡沫分析的测量条件，以及研究文献的完整列表包括在内。

## 参考文献

- [1] K. Oetjen, Ch. Bilke-Krause, M. Madani, Th. Willers, Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 460 (2014), 280-285.
- [2] S. Kamath, T. Huppertz, A.V. Houlihan, H. Deeth, The influence of temperature on the foaming of milk, *International Dairy Journal* 18 (2008) 994-1002.

您可以在我们的网站找到许多有趣的应用报告

<https://www.kruss.de/services/education-theory/literature/application-report>