

介绍

手部消毒尤其是在Covid19卫生危机中出现的。由于使用方便且成本低廉，泡沫分配器通常用于以泡沫形式提供手部消毒剂。泡沫是通过按下分配器的推杆产生的。然后在泵送消毒液的同时，将一定体积的空气注入消毒液中，从而产生泡沫。对于手部消毒剂制造商来说，控制分配器输送的泡沫量以及泡沫在手上捣碎时的性质（如稳定性或质地）至关重要。

FOAMSCAN™ 泡沫分析仪能够通过测量两个关键参数来表征泡沫特性：液体分数和泡沫结构（气泡的大小和分布）。

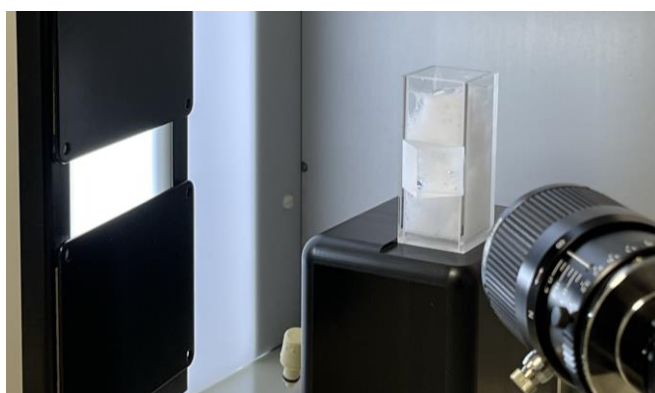
方法

FOAMSCAN™ 泡沫分析仪被用来研究由3个泡沫分配器产生的3种泡沫溶液A、B和C。泡沫A是由水醇溶液制成，泡沫B和C是由水基溶液制成。

FOAMSCAN™ 软件测量泡沫体积和泡沫稳定性，而泡沫的结构（气泡大小和分布）以及泡沫的液体部分则使用CSA软件进行分析。

泡沫A、B、C直接从分液器中产生，放入装有棱镜的石英玻璃比色皿中（内径25*25*65mm）。在向比色皿中注入泡沫后立即开始测量，持续600秒。

实验进行了3次，以确保测量的可重复性。



FOAMSCAN™ 泡沫分析仪 – 实验装置设定

泡沫特性分析

泡沫形成后，泡沫结构的图像显示，泡沫A表现出大小均匀的气泡，而泡沫B和C的气泡大小不均匀（图1）。大视场（10平方毫米）可以观察到几百个气泡（泡沫A开始时超过700个），并确保气泡群有良好的数据统计。

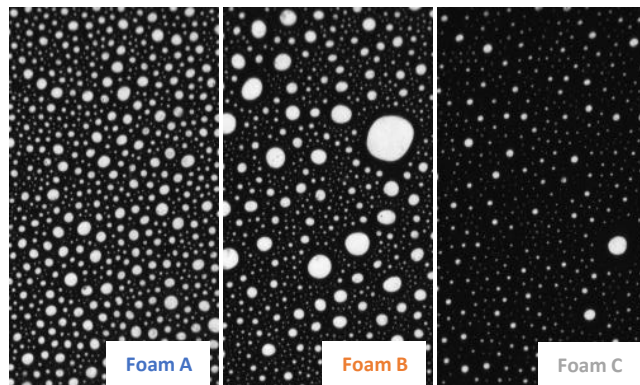


图1 泡沫产生后，CSA相机拍摄的泡沫图像，条形图=2.3毫米

泡沫结构随时间变化的统计分析表明，尽管3种泡沫的尺寸相似，但刚形成时，它们的老化程度不同。事实上，在 $t=10$ 秒时，泡沫C、B和A的平均半径分别为 $35\mu\text{m}$ 、 $45\mu\text{m}$ 和 $55\mu\text{m}$ （图2）。泡沫C的气泡尺寸从35微米迅速增加到平均半径为0.5毫米的大气泡；而泡沫A和B的气泡尺寸增长比泡沫C慢得多。气泡尺寸的增加可通过两种同时发生的泡沫老化机制来解释，即成熟和聚结 [Boos 2013]。

从 $T=0$ 到 $T=100$ 秒的多分散性指数分析（图2）表明泡沫C中有更多的聚结事件，而泡沫A和B的多分散度指数的稳定性表明聚结事件更少，成熟度更高，即从最小气泡到最大气泡的气体转移。

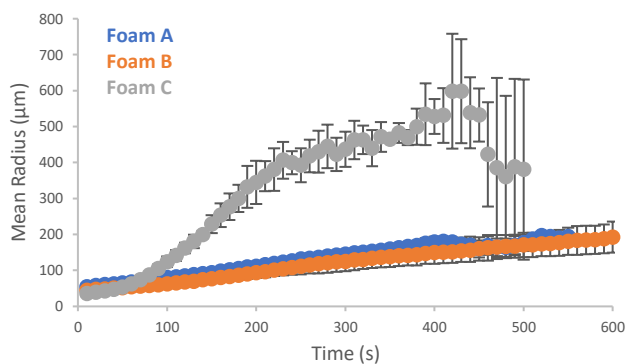
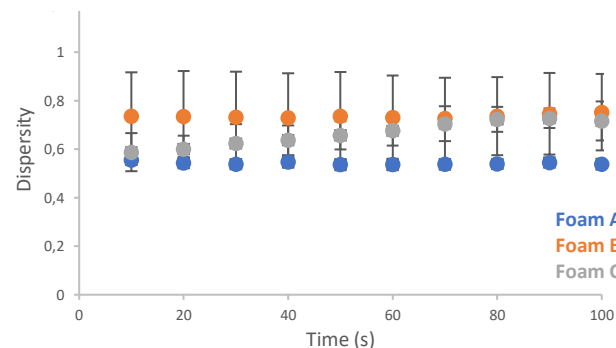


图2 用CSA软件进行泡沫结构分析



随着时间的推移测量泡沫的体积允许评估泡沫的整体稳定性。预期泡沫稳定性显然因应用不同而不同。如果是由泡沫分配器生产的手部消毒剂：泡沫需要保持稳定，以便使用者将其遍布双手。

泡沫体积随时间的变化（图3）表明泡沫B是最稳定的泡沫。它的泡沫量在600秒内缓慢下降，比应用所需的时间长得多。泡沫C的体积迅速减小，其半衰期 $t_{1/2}=220$ 秒最短。泡沫A显示出比泡沫C长两倍的中等稳定性（ $t_{1/2}=440$ 秒）。

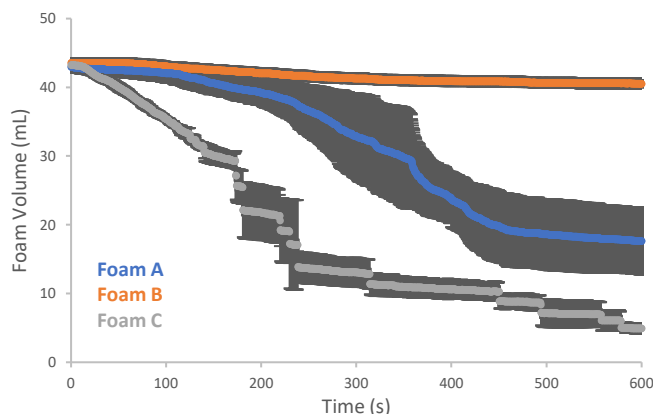


图3 泡沫体积随时间变化，n=3

排水和聚结是发生的两种主要耗散机制。虽然聚结很难量化，但排水可以通过液体分数（liquid fraction）测量来表征。

泡沫液体分数表示泡沫中的液体量。可使用CSA软件通过图像分析计算该液体分数[Forel 2016]。随着时间的推移，监测该液体部分表明排水在泡沫衰减中如何发挥作用。

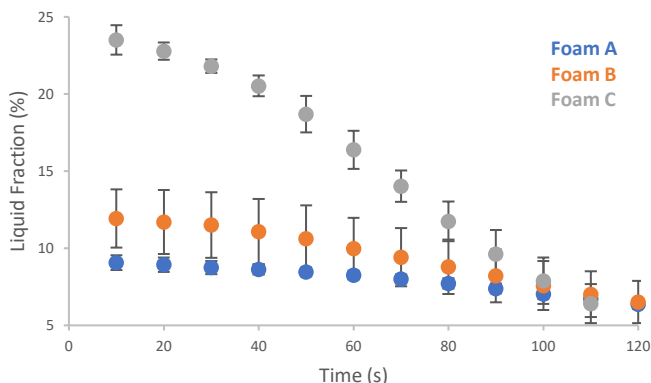


图4 液体分数随时间变化，n=3

开始时，泡沫A、B和C的初始液体分数分别为9%、12%和23%（图4）。泡沫C是最湿的泡沫。随着时间的推移，泡沫C的排水速度比泡沫A和泡沫B快。当泡沫在皮肤上扩散时，根据泡沫是否湿润以及排水速度是快还是慢，人的感觉会有所不同。有趣的是，将这些定量数据与定性消费者研究的结果联系起来。

此外，液体分数与泡沫的屈服应力有关。使用3个手部消毒剂泡沫分配器后，我们观察到泡沫在手上扩散时的两种不同行为。泡沫A和泡沫B保持相当牢固，而泡沫C破裂并流动。泡沫C在皮肤上流动，因为它的液体含量太高。它不能承受自己的重量。要求更小的气泡尺寸，以使该配方具有更高的屈服应力。

结论

泡沫的特性不仅取决于消毒液的配方，而且还取决于用于产生泡沫的泡沫分配器。

泡沫分析仪FOAMSCAN™可以测量由任何外部设备产生的泡沫的特性，这使它成为优化最终产品成本效益的有力工具：

- 改进发泡液的配方
- 选择产生泡沫的最佳工艺或设备

参考文献

Boos, J.; Drenckhan, W.; Stubenrauch, C., Protocol for studying aqueous foams stabilized by surfactant mixtures. *Journal of Surfactants and Detergents* 2013, 16 (1), 1-12.

Yazhgur, P.; Rio, E.; Rouyer, F.; Pigeonneau, F.; Salonen, A., Drainage in a rising foam. *Soft Matter* 2016, 12 (3), 905-13.

Volp, A. R.; Willenbacher, N., Shear modulus and yield stress of foams: contribution of interfacial elasticity. *Soft Matter* 2021, 17 (14), 3937-3944.

Forel, E.; Rio, E.; Schneider, M.; Beguin, S.; Weaire, D.; Hutzler, S.; Drenckhan, W., The surface tells it all: relationship between volume and surface fraction of liquid dispersions. *Soft matter* 2016, 12 (38), 8025-8029.

