

巧克力融体的流动行为 ——ICA 标准分析

Klaus Oldörp, Thermo Fisher Scientific, Material Characterization, Karlsruhe, Germany

简介

融化的巧克力的流动行为在很多情况下都是一个关键因素。其生产运输、灌装、浸渍及注射等过程需要巧克力具有非常适合的粘度及屈服应力。同样，最终产品的外观及口感也直接受到其粘性行为的影响。

对于巧克力生产公司或者以巧克力为原料的制品公司，比如巧克力曲奇制造商来说，测试其粘度已经成为一个标准的质量控制方法。

为了满足客户在质控过程中快速，简单，更加可靠的进行粘度测试，新一代赛默飞™ 哈克™ Viscotest iQ 智能流变仪（图 1）已经问世。这台设计独一无二，基于质控应用的仪器具有很多新的特点。比如，它的灵敏度的高度提升保证了其可以使用更小的测量夹具，并可以节约用户的样品以及温度平衡的时间和清理时间。同时也提高了其测量更低的剪切速率的能力，改善了其利用数学模型进行模拟计算的可靠性，比如用卡松模型来拟合计算样品的屈服应力 [1]。

实验准备过程

按照 ICA 第 46 条标准制备了两种巧克力样品，一种是牛奶巧克力，另一种是黑巧克力。将两种样品切成片，放进密封的玻璃容器中，然后将玻璃容器在 52°C 的炉子中放置 45-60 分钟。同时，将测量杯和转子在 Viscotester iQ 的帕尔贴温控单元中预加热到 40°C。

这个实验中采用的测量夹具为 CC25 DIN Ti（直径 25mm 钛合金同轴圆筒）。这个小尺寸同轴圆筒体系只需要 16.1 毫升的样品，而且可以很容易的拆卸及清理。测试方法按照 ICA 第 46 条标准转换成赛默飞™ 哈克™ RheoWin™ 软件的标准程序。剪切速率范围见图 2 所示。哈克™ RheoWin™ 程序（图 3）包三部分内容：样品条件，测试及评估。样品条件应该始终保留在程序序列中，以防止忘记并保证所有测试都按此条件进行从而保证测试结果的重复性。在测试条件这一部分中（步骤 1-4），



图 1：赛默飞™ 哈克™ Viscotest iQ 智能流变仪

当圆筒转子的上部到达测量位置后，样品保持一个静止的状态。在这个时间里，任何由于加样或者或者夹具闭合带来的外力作用都会得到松弛，同时样品也会到达测试温度。程序的最后（步骤 11-13）是数据评估部分，由 RheoWin™ 软件自动进行。通过传统的卡松模型或者 Windhab 模型 [3] 可以来计算巧克力融体的屈服应力。而 Servais [4] 提供了一个更为简便的方法，就是用剪切速率为 5s⁻¹ 下的剪切应力作为其屈服应力。如果采用这种方法，RheoWin™ 软件也可以自动进行插值计算。

同样，本报告中也给出了两种样品在 40°C 下的稳态剪切实验结果。相对于瞬时粘度数据，稳态剪切粘度不取决于时间依赖效应或者剪切速率变化斜率。

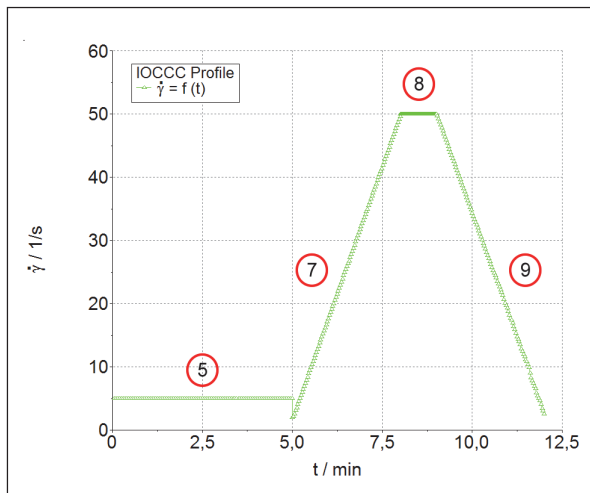


图 2：根据 ICA 46 条标准制定的剪切速率设定，其中 5-9 表示实验程序步骤并显示在图 3 中

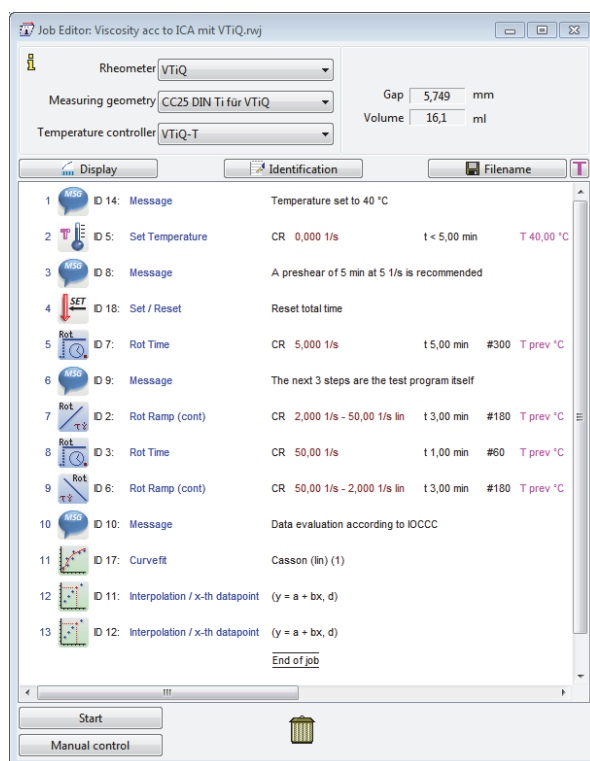


图 3：实验程序，其中 1-4 为条件部分，5-9 为流变测试部分，10-13 为数据评估部分

如果需要进行粘度数据比较，稳态剪切方法是最好的选择，因为其不依赖于所使用的仪器而且可以直接关联于所施加的剪切速率。

结果讨论

图 4 给出了符合 ICA 46 条标准的典型的流变实验结果。红色曲线代表粘度，蓝色曲线表示剪切应力。很明显，牛奶巧克力的粘度更高，大约高出两倍以上。黑巧克力的粘度曲线随剪切速率上升及下降的变化几乎一样。相反，牛奶巧克力则表现出较为明显的触变性。绿色抛物物

线是根据卡松模型对数据进行拟合的结果，而垂直的绿色线则是根据 Servais 法则计算的结果。不同的方法决定了两种巧克力屈服应力的不同，具体数值如表 1 所示。表格数据给出的最重要的结果是即使对于同一个数据，不同方法就会得到不同的分析结果。因此，样品的屈服应力只能按照相同的计算方法来进行比较。但是，无论何种计算方法，牛奶巧克力的屈服应力都比黑巧克力要大，而且触变性更加明显。

	Milk Chocolate	Dark Chocolate
τ_0 Casson / Pa	8.9	2.1
τ_0 Windhab / Pa	14.7	4.0
τ_0 Servais et al. / Pa	30.0	10.4

表 1：根据图 4 的结果，采用不同方法计算出的屈服应力

结论

在质控过程中，巧克力的流变表征主要集中在其粘度与屈服应力方面。赛默飞™ 哈克™ Viscotest iQ 智能流变仪是一款简洁紧凑的仪器，并将灵敏度及测试能力完美结合，从而可以根据 ICA 46 标准在很宽的剪切速率范围内对巧克力进行成功的流变测试，并且只需要使用非常少量的样品。同样，稳态剪切实验结果（图 5）给出非常好的结果，提供了可靠的数据以进行不同方法、模型下的数据分析。

参考文献

1. J. F. Steffe, "Rheological Methods in Food Process Engineering ", Freeman Press 23 (1996)
2. "Analytical Method 46 - Viscosity of Cocoa and Chocolate Products ", ICA (2000)
3. E. Windhab, Bericht: IV. Tagung Lebensmittelrheologie Detmold (1993)
4. C. Servais, H. Ranc, I. D. Roberts: "Determination of Chocolate Viscosity ", Journal of Texture Studies 34 (5-6): 467-497 (2003)

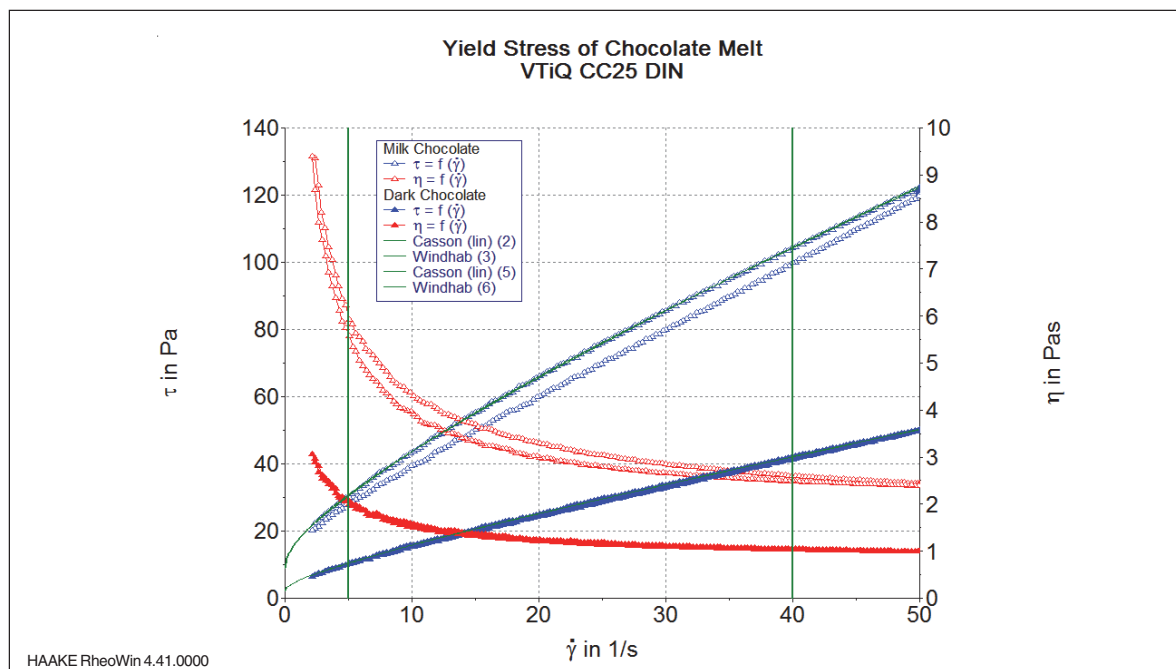


图 4: 牛奶巧克力 (空符号) 与黑巧克力 (填充符号) 实验结果

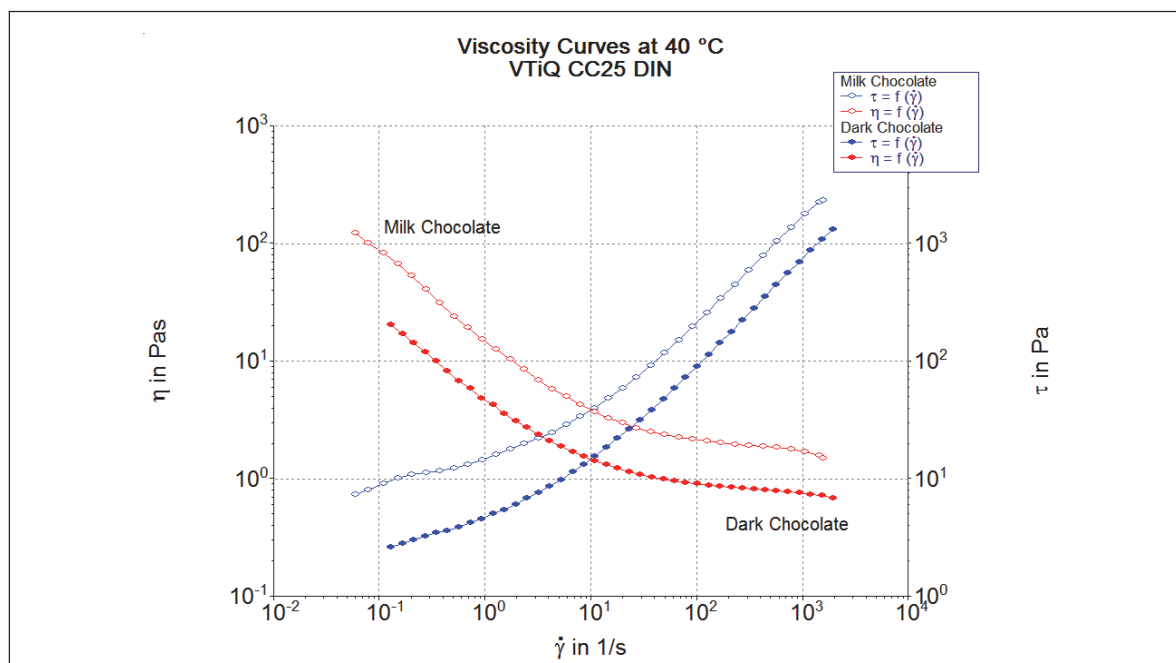


图 5: 牛奶巧克力和黑巧克力在 40℃下的稳态剪切粘度结果