

Brookfield仪器在食品工业中的应用

Brookfield 中国技术服务中心

摘 要

本文主要论述了食品流变学和质构学，对食品研发、质量控制、生产工艺控制的指导意义，并详细介绍了Brookfield实验室和在线粘度计、RS流变仪，以及CT3质构仪在食品物性测试的应用，为广大研究和生产食品的客户提供有用对各种食品性能作全面评价。

关键词：食品、流变特性、质构分析、Brookfield粘度计、质构仪

一、食品的流变特性与质构分析

食品流变学是在流变学基础上发展起来的，它以弹性力学和流体力学为基础，主要应用线性粘弹性理论，研究食品在小变性范围内的粘弹性质及其变化规律，测量食品原材料、半成品、成品在在特定形变下如加工、操作处理以及消费过程中产生的变形与流变响应。因此，食品流变学的研究对象是食品及其原料的力学性质，食品流变学传统的只注重食品的组成及其变化的化学方法不同，它用数学语言，通过所设定的数学模型对食品进行量化的研究。食品流变学根据食品的流变特性分为粘性流体和粘弹性流体两大类。食品流变学是研究食品在力的作用下变性或流动的科学，因此应力和应变对食品流变学研究而言都是极其重要的。食品流变学特性主要通过测定应力与应变对时间的函数来确定，这种特性可以用坐标图解或数学模型来表示。研究发现流体的流型可以通过研究其流变曲线的形状加以确定，而流变曲线又可以用一定的数学模型进行描述。数学模型是通过数学语言来表达问题，从而达到用数学工具解决问题的目的，具有渐进性、条理性、逼真性、可行性和可转移性等优点。

食品质构分析是研究食品在加工储藏中组织的软化与分解等，以及模拟人对食物的感官质地剖面特性等，这些质构的变化会引起材料流变特性的变化。质构是消费者评价食品质量最重要的特征之一，特别是对消费量越来越大的沙司、调味酱、奶酪、涂抹料和冰淇淋等半固态食品显得更为重要。

食品流变与质构特性研究对食品工业有重要意义：

1、食品流变与质构特性与食品的质量

传统的食品质构及其表现状态就是用感官检验来评价的，感官分析实质上是以人作为“仪器”测量产品的感官特性，对产品的质地特性（如软硬等）可以通过一定的感官分析方法用人来测量，口尝就是一个复杂的流变过程，咀嚼包括磨、剪、挤压、压缩、拉伸等物理过程。通过流变学的一些测试可以反映食品的质量，并可避免感官品尝中主观的影响。

粘稠性不仅是液态食品的感官评价指标，而且影响到食品风味的接受性。Wood 曾研究液态食品的粘稠度与品尝时的反映，并找出其流变学关系，指出当假塑性时，系数 $n=0.5$ 时，乳类甜食、汤料、酱类、浆状食品的口感最好。这类食品在口中保持稳定的流动，当有剪切作用（舌动等）时有较低的粘度，若停止剪切，又恢复原来的粘度，容易吞咽。

2、食品流变与质构特性与食品研发

通过流变学试验（模拟试验）可以预测产品的质量以及产品在市场上的接受程度，指导新产品的开发。例如：使用食品胶时，必须对使用的目的(应用食用胶的哪一种特性)有清楚的了解，才能根据不同食品胶的特性进行选择。质构仪就可以发挥很大的作用，由于所有的食品胶都不只一种功能，因而在为食品任何一类特别的应用选择最佳食品胶时，都还应该考虑、候选。食品胶在该食品中发挥的其它的功能，所以食品工艺师在选择食品胶时需要考虑诸多因素，必须综合考虑产品形态(如凝胶、流动性、硬度、透明度及混浊度等)；产品体系(悬浮颗粒能力，稠度等)；产品储存(时间、风味稳定、水分)、产品加工方式和经济性等。否则，不考虑其它因素，直接选择使用在该项应用中表现得最好的食品胶，可能并不是最佳的选择。

3、食品流变与质构特性与生产中的质量控制

食品加工过程中的质构变化，势必引起材料受力性质的改变，研究食品在加工生产时的流变行为，如在泵、管道、挤压机、设备、均质机、热交换器中的流动，就可以在生产中实现有效控制和改进工艺条件。这方面应用最广的是巧克力的生产。巧克力可以是固体也可以是液体，取决于其脂肪的构成与存在状态。可可脂在温度高于 32°C 将会急剧的融化，成为液态。因此可以借助流变学测量方法对其特性进行检验。巧克力最重要的流变学参数就是屈服应力值，其流动曲线遵循Casson方程：把流动曲线外推至零剪切速率来确定巧克力的屈服应力值。屈服应力与巧克力中所含的可可脂肪成分，巧克力浆

中的可可粉、糖粉等的磨碎程度及卵磷脂的用量有关。在涂布巧克力层的时候（威化巧克力、冰淇淋巧克力等），涂层的厚度取决于巧克力的屈服应力，垂直面厚度取决于其粘度。

4、食品流变与质构特性与工程设计

食品加工及处理过程涉及的液体多为非牛顿液体，其表观粘度随时间、剪切应力、剪切速率的变化而变化，因此掌握各种食品的流变学特性，便于在流体的输送，管路设计以及搅拌、乳化、均质、物化、浓缩、灭菌等单元操作的机械设计中充分考虑物料在力的作用下粘度的变化，有针对性的设计设备结构及功率等。如有些材料具有剪切变稀现象，故其输送启动功率要大等。

二、食品流变与质构特性的测量

食品物性研究起步较早，但是由于食品体系的复杂性，早期物性的研究主要是一些经验性的测定，近年来由于食品科学工作者为了提高对食物加工性，特别是食品的深加工性、工艺及设备设计的依据性等的需要，食品物性的研究变得愈来愈广泛。随着研究活动的深入，研究手段亦有了较大地发展，表现在先进的流变学测试仪器的引入和开发。应用先进测试仪器，使实验与研究在建立食品物料的流变与质构特性力学模型上更为方便。

（1）食品流变的测量

流变仪是一种多功能物性测试仪，在食品、化工、医药、化妆品等行业的物性学分析



DV-II+Pro编程式粘度计



YR-1屈服应力仪

析都有很好的应用。在食品分析中，质构仪主要应用于分析液体、半固体以及软物质食

品的粘度、剪切力、屈服力、恢复性、触变性等物性参数，并能结合感官品评分析，客观地评价食品的各种感官指标，控制产品质量，优化产品生产工艺。

Brookfield 作为世界上最知名的仪器生产商，推出了一系列产品均可以用于食品流变性特别是液体或半固体食品的流变性研究，如 DV 系列粘度计、YR-1 屈服应力流变仪、R/S 流变仪和在线粘度计等，可以进行全面的流变学测试。R/S 系列流变仪具有控制剪切率和剪切应力两种模式，尤其适合于测量非牛顿流体在稳态流动下的粘度、流变曲线等特性。另外，它还可以测量非稳态剪切流动和蠕变状态下的粘弹性，以及测出屈服应力和触变性特性。在质量控制和研发领域均可进行完美的流变分析，常常用于奶制品、调味品、果酱、巧克力、凝胶等。Brookfield 有多款不同型号的卫生级别的在线粘度计，例如 STT-100®、TT-220 和 AST-100 等在线粘度计，在番茄、调味料汤料、酱油、巧克力和果汁等加工业有助于确保产品适当的粘度。是专为食品加工连续，准确和实时测量的，可以减少批次差错，并确保后续产品的品质一致性。它将替代老的手工方法，提供更可靠和连续的流程测量。



RS系列高级流变仪

计



STT-100旋转在线粘度计



AST振动式在线粘度计



食品流变学研究的应用举例

蛋白质溶液----流变加工研究

凝胶体系----添加剂凝胶化过程; 食品安全

淀粉糊化过程----产品工艺控制; 原料选择

饮料----适口性研究

复配研究----配方体系优化; 胶源选择; 应用开发(如在蛋糕中应用)

表面活性剂----天然助剂开发

面团----粘弹性分析—成品性能预测; 烘焙工艺优化; 配方优化

水果蔬菜----加工研究; 果胶

乳业----奶酪工艺

婴儿食品----食品安全

(2) 食品质构的测量

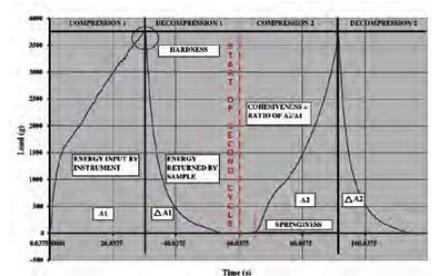
Brookfield同时致力于向客户提供完备精美的质构分析仪器用于半固体和固体食品的研究。质构仪是以上、下移动的实验室天平为主体，它能连续记录测试材料对施加的机械条件的反应负载（力）。它可以通过向下（压）或向上（拉）运动中的任一种方式执行测量，并使用不同几何形状和尺寸的探头，在样品上施加运动的力，用负载对时间的图表来进行图形解析，模拟出物体在生产过程中或在操作过程中被施加外应力的反应情况，仪器可以单机操作，也可以与电脑联机使用TexturePro CT软件操作、分析。这些测试提供对产品的物理性能的实时检测，使生产品质的一贯性得到保证，减少产品的不合格率。

食品质构是复杂、多维的特性综合，仪器的测量数据可以比传统的感官评价提供更多的定量选择。质构分析可以视为一项客观定量的主观评价质构特性的实用科学。对主观特性的仪器测量可以对产品质量提供在生产中的客观测量。

Brookfield之CT3质构仪按量程范围分七个型号，有100g、1000g、1500g、4500g、10kg、



CT3质构仪+恒温水浴



Texture Pro CT软件

25kg和50kg，可对广泛的产品进行多种特性的测试，比如硬度、嫩度，脆性、胶粘性、粘牙性、回复性、弹性、凝胶强度等、剥离强度、拉伸强度、断裂强度等等。

食品业常见质构分析应用：

1) 烘焙业

人造黄油、薯片/薯条、饼干面团、蛋糕、面包、薄煎饼、馅饼皮、薄饼、早餐

谷类食品、旅游休闲食品等

2) 糖果业

硬糖、焦糖、软糖、巧克力焦糖、巧克力酱、口香糖、橡皮糖、芝麻蜜饼、柠檬酱、果酱、杏仁蛋白软糖、糖浆、蜂蜜、乳糖等

{ SHAPE * MERGEFORMAT }

3) 烘焙油脂

黄油或人造黄油、干酪、鲜奶油、鲜奶酪、冰淇淋、蛋黄酱、慕丝、酸乳酪、巧克力等

4) 水果与蔬菜行业

苹果、葡萄、梨、桃子、草莓、柑橘、橄榄、豆类、番茄、玉米、胡椒、土豆、豆腐、芹菜等

5) 肉类、家禽和鱼类

肉丸、鱼丸、水饺、鸡肉、火腿、鹅肝酱、对虾、香肠、鱼糜等

6) 面食、面条和米饭

饺子、粉条、面条、米饭等

7) 宠物食品

健齿狗粮、流质猫粮等

8) 其他食品及快餐小吃类

明胶、纯生啤酒、薯片类脆片食品、番茄酱、威化巧克力条、坚果、泡菜、比萨饼、香脆薄片薄饼等

下表列出了一些食品使用的Brookfield 仪器测试的情况：

食品类型	测量特征	应用 Brookfield 仪器	测量方法
淀粉	糊化特性、流变特性	淀粉测量系统 SSB 和在线粘度计、RS 流变仪	少量样品适配器 SSA， GB/T 12098-1989，GB/T 22427.7-2008
熔融巧克力	屈服应力和塑性粘度	旋转粘度计、RS 流变仪、 在线粘度计	少量样品适配器 SSA
冰淇淋	粘度和加工特性	旋转粘度计、RS 流变仪	

酱、奶油等涂抹类食品	屈服应力	旋转粘度计、YR-1 屈服应力测试仪、RS 流变仪	桨式转子
食品增稠剂	流变性	旋转粘度计、RS 流变仪	
乳品	粘度	旋转粘度计、RS 流变仪	
酱油/糖浆/油脂	粘度	旋转粘度计、RS 流变仪	
果汁	低剪切下粘度	旋转粘度计、RS 流变仪	
明胶	冻力/凝胶强度	CT3 质构仪	AOAC 和 BS 757 之 Bloom 实验标准, GB 6783-94
馒头、面条、面包等面制品	硬度、弹性、胶着性、咀嚼度、拉伸强度, 以及新鲜度、脆度、粘稠度、面团品质等	CT3 质构仪	GB 16860-1997
火腿、牛肉、鸡肉、鱼糜等肉制品	硬度、弹性、胶着性、咀嚼度等	CT3 质构仪	GB 16860-1997
干酪、酸乳等乳制品	强度、粘附度、稠度硬度等	CT3 质构仪	GB 16860-1997
水果、蔬菜	硬度、脆度、成熟度	CT3 质构仪	GB 16860-1997
各种凝胶	粘稠度、断裂性、硬度、凝胶强度	CT3 质构仪	GB 16860-1997
糖果、果冻	粘稠度、断裂性、硬度、凝胶强度	CT3 质构仪	GB 16860-1997

食品工业在我国国民经济中一直占着举足轻重的地位。近年来, 食品消费与需求由追求数量向追求质量、营养、安全、多样和方便型的转化, 这就带动了食品技术的不断进步, 食品流变与质构研究也是在这个大的背景下, 不断发展进步, 在食品工业中发挥的作用越来越大!