

质构测试的变革

Claire & Chris Freeman

Food Scientists, Brookfield Viscometers Ltd.

质构分析是一项成熟的技术，起源于 20 世纪 50 年代，当时的食品制造商开始对自己的产品有更客观的评价。食品的结构特性（或流变特性），如硬度、咀嚼性、胶黏性、柔软度、成熟度、弹性和粘性，已经在实验室中通过人的感官来做定性评价。如今，这些同样的性质大都已经可以使用质构分析仪实现统一的量化分析。

质构分析仪可以在指定测试条件下用于样品的压缩或拉伸测试。图 1 中用户选择的这种探头引起形变，设置探头引起样品形变的距离和速度。在测试过程中导致样品形变的测量参数负荷力将被连续记录。使用不同的探头，样品产生的运动力可以被控制。例如，图 1 中测试的饼干也可以使用图 2 中的冲击试验探头测试。

探头会运行到样品的表面，并且检测与样品接触时初始的阻力值（触发力），表明压缩测试开始。在这一点仪器记录指定距离内或负荷力样品受到探头剪切、穿透或压缩作用的响应。测试结束后探头会离开样品并返回到样品表面的开始位置。图 1 中饼干的弯曲试验是饼干脆性的表征，图 2 的穿透试验是测量饼干的硬度。

拉伸试验中样品两端固定在两个夹具上，然后如图 3，夹具彼此拉开，样品被拉伸。这类的测试可以用于评估例如，打开零食密封袋所需要的力，或有延展性的糖，如太妃糖。



图1 BROOKFIELD CT3质构分析仪演示饼干的断裂试验



图2 冲击探头组件测试硬度

质构分析是用于控制产品生产和质量控制的一致性，优化产品的质构特性，



图3 双向拉伸夹具TA-DGA用于拉伸测试

并预测消费者对产品的感官感受。它是一个提供快速结果的高效技术，是量化食品的感官物理特性的一个有效手段。

随着消费者对食品的认识和要求日益提高，他们希望食品行业可以提供更加健康的选择（保持原有的质地和风味）和更大的营养价值。在研发过程中，质构分析正对新产品的生产和研发发挥着重要作用。

全脂和低脂产品的质构分析

近几年，通过减少热量和脂肪摄入达到健康饮食目的的消费者数量在显著增加。同时，由于健康问题，如肥胖症、癌症和心脏疾病，低脂肪和低热量产品的需求也在不断增长。消费者偏爱购买低脂肪同时又保持原有味道、口感和营养价值的产品，由此食品行业亟需将人工甜味剂和脂肪替代品纳入研究范围。对于食品技术，产品质量、口感和味道都是得到低脂肪/热量食品市场认可需要考虑的关键因素。然而，食品中代替脂肪并不是一个简单的过程。脂肪对于食品的口感、味道、均一性和稳定性起到重要作用。因此，食品行业中天然和合成的脂肪替代品的目的是模拟天然脂肪，发挥保证味道、适口性、乳脂以及减少脂肪/卡路里含量的作用。

对于一个产品，有一个客观和精确量化产品质构特性的方法是很有必要的，不仅要预测消费者对产品的反应（或测试产品研发过程中的一个新配方），也能保证产品在 Q/C 级别的一致性。质构分析仪有丰富的技术和固定装置可以用于评估产品的物理性质，质构分析可以广泛用于食品行业中的各种产品，大多数低脂产品应用与乳制品、肉制品、糕点和休闲食品。

蛋黄酱是乳制品使用低脂替代品的一个典型例子。全脂蛋黄酱是大约含 75% 的油脂，和蛋黄、水、醋及香料混合而成的。油脂在蛋黄酱中是至关重要的，油

脂和蛋黄形成乳化结构，使得产品形成奶油般顺滑的质地。这种凝胶结构让蛋黄酱有典型的半固体状和可塑性。油脂的含量越高，就可以形成越小的油滴和更牢固的乳化液。

由低脂替代品得到高脂肪含量的感官，脂肪替代品需要模拟油脂的特性和功能。食品制造商需要鉴别脂肪替代品和产品的成分，以得到期望的质地、口感和香味。通常低脂的蛋黄酱降低了 15 — 25% 的含油量。这意味着全脂对应的油滴密集网络被破坏，失去了奶油般的质地。为了得到和全脂产品相似的质地结构，水、淀粉及增稠剂代替油脂，发生乳化作用。这种脂肪替代品的选择可能会导致形成的产品质地有粘稠的口感或黏腻的感觉。食品生产的挑战就是要减少含油量的同时保持所需的结构和质地。要实现产品质地与全脂相似，生产过程稳定，有好的样品厚度。使用质构分析仪特殊的蛋黄酱网状探头，不同配方的蛋黄酱质地特性可以被量化，便于新产品的开发，保质期的研究和产品质量控制。

图 4 展示了网状探头在样品表面上方的开始位置。

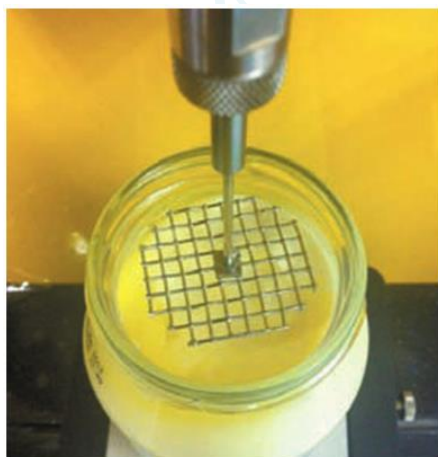


图4 网状探头在蛋黄酱上演示挤出测试

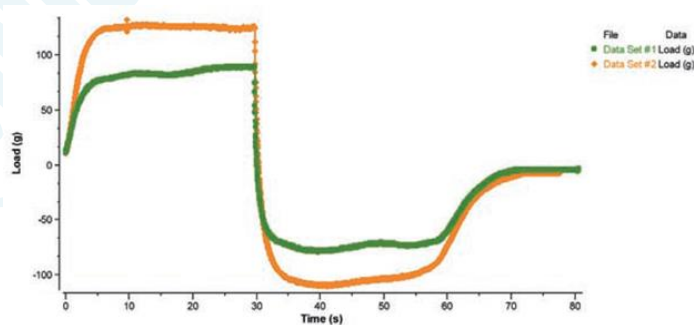


图5 对蛋黄酱的质构分析测试

图 5 是使用网状探头对全脂和低脂蛋黄酱挤出测试获得的图形数据的典型例子。全脂和低脂奶黄酱样品的硬度和粘着性是在样品从 6℃ 储存室取出直接测试的。当探头在样品表面达到设定的触发力，网状探头会压缩样品至 30mm（或其他指定距离）的深度。在这个过程中，样品会被压缩形变，以更加紧密的形式进入剩余的可用空间（网状探头下方）。当样品变得更加紧凑，空气排出，受到

的力增加，挤出开始。当力增加到最大值点，可观察到平稳状态就是继续挤出所需的稳态力值越大，表示样品越粘稠。最大值就是样品的硬度。最大的负峰值发生在当探头返回，从样品移开的时候。这是测量粘结力，上述的负峰值的面积测量两种蛋黄酱的粘性的相关性。

Data Set #1: 全脂蛋黄酱

Data Set #2: 低脂蛋黄酱

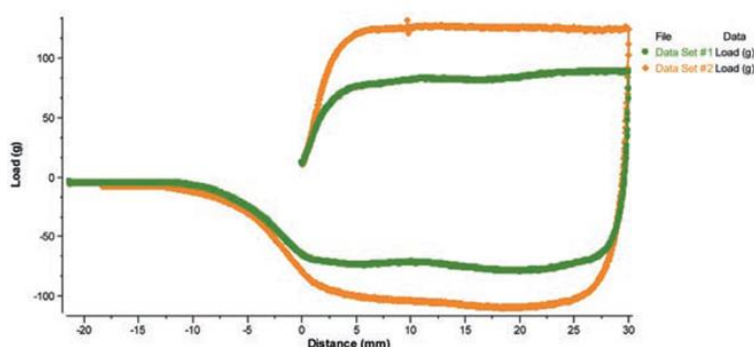


图6 全脂和低脂蛋黄酱负荷力vs. 距离图

图 6 是显示结果的另一种方式。最大值是测量样品的硬度。测试起始点到目标距离点下方区域是所作的功。该值越高，表示样品越粘稠。最大的负向值表示样品的粘结力，负峰值上方区域表示样品的粘性。零负载点表示探头已经完全从样品中离开回到它最初的位置（样品表面上方）。

利用质构分析仪测量产品的机械特性可以关联到蛋黄酱的感官特性，如：

- 硬度

这是蛋黄酱的强度，表明了用勺子或刀分离蛋黄酱所需要的力。

- 功

用勺子从瓶或容器舀起蛋黄酱所需要的能量。

- 附着力

克服的蛋黄酱和其他材料接触表面之间的吸引力所需要的力

（例如，舌、牙、腭或汤匙）

- 粘性

从蛋黄酱取下勺或刀所需要的能量。

表 1 全脂和低脂蛋黄酱用网状探头得到的质构分析的典型结果：

Mayonnaise	Hardness (g)	Work Done (mJ)	Adhesive Force (g)	Adhesiveness (mJ)
Full Fat	89.4	23.13	79.4	24.29
Low Fat	131.6	34.62	110.4	32.9

这个表展示了低脂蛋黄酱比全脂蛋黄酱，硬度和粘性都更大。

无麸质的质构分析

消费者对无面筋的产品的接受度受限于产品的质地、味道和口感。麸质是一种特殊的蛋白质，含有蛋白麦醇溶蛋白和麦谷蛋白，其中麦谷蛋白组成了 75-86% 的麸质（其余部分主要为碳水化合物和脂质）。蛋白组成了麸质，水合时，面筋有了结合力、弹性和粘性。麸质决定了面团的延展性、拉伸性和捕捉空气的能力。在烘焙产品中，麸质决定了面包、蛋糕的色泽、松软度、弹性和有结合力的结构。毫无疑问，当前无麸质的产品在市场上由于产品的口感和风味欠佳而质量较低。无麸质的烘焙产品缺少含麸质产品中的粘性和柔软面包屑，相对干燥而明显缩短了保质期。

产品研发者，优化成分和原料生产出高结构质地的产品替麸质和代含麸质的成分，可以增加市场的接受度，不仅吸引了不喜欢麸质的消费者，也吸引着关系健康的消费者。在无麸质产品的生产中，质构分析是关联产品物理性质和感官评价的关键。

图 7 展示了质构分析仪使用圆柱形探头和基台利用压缩模式测量两片面包的典型例子。在测试中，圆柱体探头压缩面包片得到面包的质构参数，包括硬度、恢复性、粘结性、弹性和咀嚼性。由于面包片的厚度会发生变化，为了得到有可比性的测试结果，执行百分比的形变测试。



图7 CT3质构分析仪测试面包

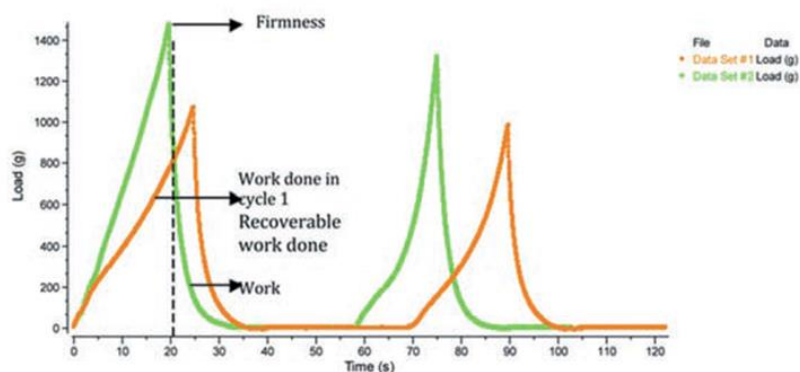


图8a 双循环质构分析（TPA图）

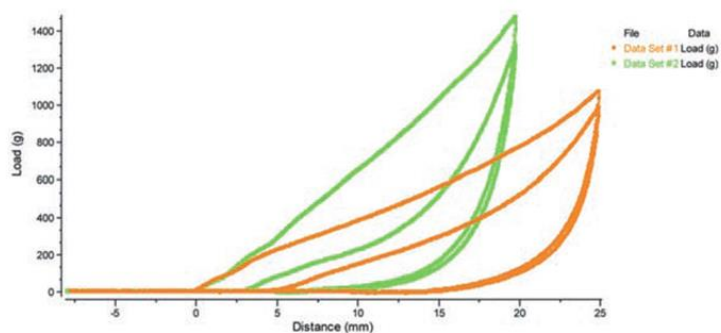


图8b 双循环质构分析（TPA图）负荷力vs. 距离图

图 8a 和 8b 及表 2 是使用 36 毫米铝圆柱体探针（TA-AACC36）测试全麦面包片和类似尺寸的无麸质的棕色面包片质构分析得到结果的典型例子。

图 8 展示了第一次和第二次压缩循环产生的两种力峰值，这个峰值表示样品的硬度。

图 8b 中的曲线图展示了样品从压缩形变的施加上到压缩移去的相应。图上最大的峰值表示样品的硬度，从曲线开始到到达目标距离点曲线下方的面积为测量到仪器所作的功。从目标距离到零负荷曲线下的区域面积为压缩力从面包片移开的所做的功。

数据表#1：全麦面包片 #2 无麸质面包片

Sample	Hardness (g)	Work (mJ)	Resilience	Cohesiveness	Springiness Index	Chewiness Index
Wholemeal roll	1074	119.81	0.17	0.63	0.82	502.4
Gluten-free roll	1475	128.53	0.23	0.53	0.85	634.1

通过质构分析仪测试得到的机械性能与产品的感官特征关联如下：

•硬度

用手指或用臼齿压缩/咀嚼使面包变形所需的力。

•功

这是咬或嚼面包，使面包变形所需的能量。

•恢复

面包从压缩状态恢复。这是计算恢复所作的功和形变所需能量（硬度功）之比，得到一个 0 和 1 之间的值。

•粘结性

这是面包屑中的内键的强度。

•弹性指数

这显示了产品弹性的感觉，是面包新鲜度的指示。

•咀嚼指数

这是咀嚼食物直至它可以吞咽状态所需的能量。

结果表明，无麸质的面包片的咀嚼指数要比全麦面包要高，这意味着无麸质面包片需要更多的能量来咀嚼直至面包片得到可以吞咽的状态。两者有相似的恢复和弹性指标值，表明压缩力移除之后，两个产品的恢复特性形似。该弹性指数表明，全麦和无麸质面包变形后分别恢复到原来的 82% 和 85%，全麦面包比无麸质面包有更强的粘结性。这说明无麸质



图9a 生面团粘性夹具标准测试
获得面团生产过程中的重要参数



图9b 标准生面团罐装套装
用于测试生面团的硬度



图9c 生面团延展性夹具：
测量样品拉伸时的抗断强度



博勒飞

BROOKFIELD CHINA REPRESENTATIVE

Guangzhou: 020-37600995, 37600548; guangzhou@brookfield.com.cn

Shanghai: 021-62575091, 62572166; shanghai@brookfield.com.cn

Beijing: 010-84284842, 84284943; beijing@brookfield.com.cn

面包比全麦面包更容易掉面包屑。

无麸质产品在烘焙产业中不断增长的需求，使得对产品的原料和最终产品的质构分析成为必要。质构分析正在成为产品开发过程中一个预测消费者对产品感受常用的技术。质构分析还可以和 Q/C 一起保证生产的一致性。质构分析仪可以评估烘焙业中所有类型的无麸质产品，包括原材料（如面团）到成品（如蛋糕和饼干）。图 9a、b 和 c 中展示的是常用于生面团测试的固定装置。

总结

质构分析在产品研发新配方、产品组分改变、获得更大用户认可度、测试保质期以及产品的匹配方面都扮演着重要的角色。在质量控制上，质构分析可以评估原材料及与供应商质量关键点的一致性。在工艺开发过程中，质构分析仪可用于在线工艺控制、流程优化，以及管道和泵的设计。在研发中，质构分析仪可用于研究产品特性的长期调查，如储存时间和感官的相关性。质构分析仪的投资成本不高，却可适用于整个工厂所有上述的目的和应用。

美国 BROOKFIELD 公司中国代表处
博勒飞粘度计质构仪技术服务有限公司