

质构仪在淀粉及淀粉基食品品质研究中应用的研究进展

黄峻榕^{1,2} 李艳芳¹ 蒲华寅¹ 李宏梁¹

(1.陕西科技大学食品与生物工程学院 陕西西安 710021;

2.陕西农产品加工技术研究院 陕西西安 710021)

摘要: 随着食品科学和食品工业的发展,质构仪在食品品质测试中的应用越来越受到重视。本文介绍了质构仪输出参数值与感官特性之间的联系,综述了质构仪在淀粉及淀粉基食品品质研究、品质改善和工艺优化方面的应用,为利用质构仪在淀粉基食品的原料选择、品质控制、工艺优化、产品研发及保存提供参考。

关键词: 质构仪 淀粉 淀粉基食品 食品品质

Research progress on application of texture analyzer in quality of starch and starch-based food

HUANG Jun-rong^{1,2} LI Yan-fang¹ PU Hua-yin¹ LI Hong-liang¹

(1.School of Food and Biological Engineering Shaanxi University of Science and Technology Xi'an 710021,China;

2.Shaanxi Research Institute of Agricultural Products Processing Technology Xi'an 710021,China)

Abstract: With the development of food science and industry, more and more attention has been paid to the application of texture analyzer in quality test of food. The relationship between output parameter values of texture analyzer and sensory characteristics of food was introduced. Furthermore, the application of texture analyzer in research on quality improvement and process optimization of starch and starch-based food were reviewed. The information was summarized for raw materials selection, quality control, process optimization, product development and preservation of the starch based foods by using texture analyzer.

Key words: texture analyzer; starch; starch-based food; food quality

中图分类号: TS231

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)04-0390-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.04.065

质构仪(Texture Analyzer)也称物性分析仪,由于其可将样品的物理特性量化地表达出来,且测定出的物理特性与食品的感官特性间有较好的相关性,一定程度上可以表征食品品质的优劣^[1-3]。淀粉是一种存在于自然界的多糖,其来源相当丰富,在薯类、豆类及谷类中都大量存在,也是人们生活中不可或缺的食品原料之一。淀粉基食品是指以淀粉为主要成分的食品,如面条、面包、糕点、饼干、饺子皮、馒头、搅团及粉皮、粉条、淀粉凝胶软糖等,这些食品都广受消费者的喜爱。用质构仪分析淀粉及淀粉基食品的品质,可用于各类淀粉基食品的原料选择、品质控制、工艺优化、产品研发及保存。

1 质构仪测定条件

对淀粉及淀粉基食品进行质构测试时,首先要根据样品和测试目的选取合适的测试探头、模式和条件。仪器配套探头有圆柱形、圆锥形、球型、针形、

盘形、刀具、压榨版、咀嚼性探头等;测定模式主要有压缩、穿刺、剪切、拉伸四种,其中压缩分为一次压缩和二次压缩,二次压缩(二次咀嚼测定)也被称为质地剖析(Texture Profile Analysis),即典型的TPA模式,其应用最为普遍^[4]。测定条件则主要有触发力、测试速度、停留时间和压缩距离/压缩比等,合理设置测定条件有利于获得最佳的测试结果。

同一样品在不同测定条件下其结果存在显著差异。一般硬度、咀嚼性和回复性随测定速度的增加呈上升趋势;硬度和咀嚼性随压缩比例的增加而增加,而弹性、内聚性、回复性则随压缩比例的增加而减小^[5],两次压缩间停留时间越长,弹性和咀嚼性测定值越大^[6]。只有测定条件相同,测定结果才具有可比性,故实验应注明测定所用探头、模式及条件。不同研究者采用的参数设置变化较大。在进行参数选择时,只要保证条件能够满足实验要求、测定过程中

收稿日期: 2016-07-18

作者简介: 黄峻榕(1971-),女,博士,教授,研究方向: 淀粉资源的开发与利用, E-mail: huangjunrong@sust.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371786); 陕西省科学技术厅农业攻关项目(2011K01-17)。

选用同一探头和相同参数,使结果具有可比性即可^[7]。目前常用的参数设定如下:探头运行速度 1~5 mm/s,测定速度和测定后速度保持一致^[6],触发力 5 g,两次压缩间隔时间 1~5 s,压缩程度 30%~75%,压缩距离视样品情况而定。

测定时应尽量选取形状、大小、质地均一的样品。即便如此,许多样品本身具备一定的差异性,故质构测定需要大量取样点,重复实验以减小误差,重复样品的多少则取决于样品的差异程度。此外,质构仪具有较高的灵敏度,应尽量保持样品测定环境(温度、湿度、空气流速等)的统一性,也要防止样品放置过久失水造成的测试误差^[8]。

质构仪应用最普遍的 TPA 模式可输出八个参数值,包括脆性、硬度、弹性、内聚性、胶着性、回复性六个测定参数值和咀嚼性、胶着性两个计算参数值,参数含义及其与感官特性关系见表 1 和表 2。对质构测定结果进行分析时,并不需要对每个参数值都进行分析,应根据测定条件设置、测定结果及样品特性进行选择^[9]。当样品压缩程度较小时,样品不会发生明显破裂,便不会得到脆性值;而样品压缩程度较大时,其内部结构破坏严重,就失去了对内聚性和弹性分析的意义,表征固态食品的咀嚼性和表征半固态食品的胶着性不应出现在同一结果中^[13]。故在质构测定中,选取合理测定条件的同时也应选取适当的参数值对结果进行分析。

2 淀粉品质应用

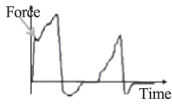
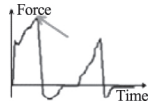
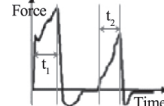
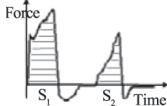
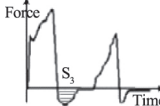
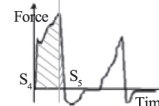
淀粉品质研究主要通过对淀粉糊或淀粉凝胶的质构分析来进行。淀粉糊和淀粉凝胶的黏弹性、硬度等特征值可以客观地反映其流变性质和质构特性。淀粉糊和淀粉凝胶的质构特性与淀粉基食品的品质及其稳定性有密切的联系,是其特殊的“力学味觉”^[14-16]。

对淀粉凝胶进行质构测试时,首先将淀粉配制成一定浓度的淀粉乳,加热糊化后趁热摇匀,冷却至室温后放置于 4 ℃ 的冰箱中 24 h 后进行质构测定。凝胶的质构测定一般选用 TPA 模式,圆柱形探头或圆盘探头。目前,研究中淀粉凝胶选用较多的探头有 P/0.5、P/50、P/6 等^[17-19]。李春红等^[20]建议较稀的样品选用内径较大的探头而较稠的样品选用内径较小的探头。

不同品种大米淀粉的质构性质如硬度、内聚性、黏着性等有显著差异^[21]。直链淀粉含量较高的大米淀粉形成的凝胶硬度较高,主要由于直链淀粉短时间结晶造成淀粉凝胶老化^[22]。Wang 等^[23]的研究表明凝胶硬度较高的大米淀粉通常直链淀粉含量较高,支链淀粉侧链较长。张兆琴等^[14]用质构仪分析了大米淀粉糊的质构特性,发现淀粉的质量分数以及 pH 对淀粉糊的凝胶强度有影响。淀粉糊硬度随淀粉质量分数增加而增大;当 pH 在 2~10 之间时,淀粉糊硬度随 pH 的增加而迅速增大。质构仪的应用

表 1 二次压缩(TPA)模式测定参数值与感官特性的关系

Table 1 Relationship between parameter values determined through TPA mode and sensory characteristics

质构参数	脆性 (g*)	硬度 (g)	弹性	内聚性/ 黏聚性	黏着性/黏性 (g*s)	回复性/ 恢复性	参考文献
感官定义	使固态食品破裂所需的力	使食品变形所需的力	食品受力发生形变,撤去外力后恢复原来状态的比率	食品内部的黏合力,即将食品内部拉合在一起的内聚力	食品表面和其它物质黏附时,剥离它们所需的力	食品在受到压缩、咀嚼后回弹的能力	[3-4,10]
感官描述	脆性	软、硬、坚硬	塑性、弹性	稀薄、黏厚	黏糊糊、发黏	恢复性	[11-12]
图谱表征							[3-4,10]
	若产生破裂现象,曲线第一个明显的峰值	第一次挤压循环的最大力量峰值	第一次挤压结束后第二次挤压开始前样品恢复的高度或体积比率 t_2/t_1	第二次挤压循环的正峰面积同第一次挤压循环的正峰面积的比值 S_2/S_1	第一次挤压的负峰面积,是探头脱离样品表面所做的功 S_3	第一次压缩循环过程中返回样品所释放的弹性能与压缩时探头的耗能之比 S_5/S_4	

* 注:也有质构仪单位采用 N,其换算形式为 1 g = 0.00981 N。

表 2 二次压缩(TPA)模式计算参数值与感官特性的关系

Table 2 Relationship between calculated parameter values of TPA mode and sensory characteristics

质构参数	胶着性/胶黏性	咀嚼性	参考文献
感官定义	将半固体样品破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量	将固体食品咀嚼为能够吞咽状态所需的能量	[3-4,10]
感官描述	易碎、粉碎、糊状、胶状	柔软、韧性	[11-12]
计算方式	计算值 = 硬度值 × 内聚性值	计算值 = 胶着性值 × 弹性值	[3-4,10]

很好地将淀粉的质构特性与其理化特性联系起来,为淀粉的品质研究提供了新的途径。

淀粉凝胶的硬度、黏着性与其老化程度有关。淀粉老化程度越大,凝胶硬度越大,而黏着性越小。夏文等^[18]研究了不同米糠膳食纤维添加量(0%、5%、10%)对大米淀粉的影响。结果表明,在同一储藏时间下,膳食纤维添加量为10%的大米淀粉硬度、黏着性及回复性变化速率最慢,5%次之,对照组最快,证明米糠膳食纤维的添加对大米淀粉的老化有一定的延缓作用,因其能够减少淀粉凝胶中水的移动性,从而减缓水分的迁移,使淀粉凝胶硬度、黏着性变化更缓慢。

除了淀粉本身品种差异,淀粉凝胶的制备条件也会对淀粉凝胶的品质有影响。Farahnaky等^[24]研究了在不同搅拌速率(15、150、350 r/min)和不同搅拌时间(95℃;10、30、45 min)制备的小麦淀粉凝胶的质构特性。结果表明,在同一搅拌时间,提升搅拌速率对淀粉凝胶的质构特性有显著的影响;在同一搅拌速率,延长搅拌时间对凝胶质构影响相对较小。相对于高速搅拌,在较低搅拌速率下升高加热温度对凝胶质构特性的影响更大。此外,凝胶的冷冻方式也对凝胶的质构特性有很大的影响。研究发现,相比于传统的箱式冷冻,代表快速冷冻的低温冷冻方法在冷冻过程中形成较小而均匀分布的冰晶,对凝胶网络破坏较小,能使凝胶保持较好的质构特性,在受到挤压时也较难破裂^[25]。

Seetapan等^[25]通过质构仪研究了大米粉凝胶的质构改善方法。结果表明,木薯淀粉的添加能够有效地改善大米粉凝胶的质构特性:木薯淀粉的溶解度和膨胀力较高,在凝胶中颗粒可浸出的成分较多,这些成分可在混合凝胶中充当黏合剂的作用,将大米淀粉颗粒黏合在一起,提高混合凝胶的弹性、内聚性,并使其在受到压缩时不会提前破裂,从而改善混合凝胶的质构特性。

3 淀粉基食品品质应用

3.1 面条品质应用

3.1.1 面条质构测试 面条的质构测试主要在TPA模式和拉伸模式下进行。拉伸模式下测得的面条拉断力与拉断应力随面粉吸水率的增加呈上升趋势,而面粉吸水率越高,其湿面筋含量越高,故拉伸模式测定参数可以很好地反映面条的弹性和延伸性^[26]。面条的感官评分与质构仪TPA模式测定参数之间也有较好的相关性。雷激等^[27]研究表明:面条的适口性与其硬度、胶着性显著相关,弹性和回复性可以表征面条的黏性和光滑性,故TPA模式下的参数硬度、胶着性、弹性和回复性可以表征面条的质构特性。

生面条制备完成后可对其进行湿面条质构测定;室温下将其放置24 h后可进行干面条质构测定^[5];将生面条放入沸水中在最佳蒸煮时间下进行煮制,捞出后在冷水中冷却1 min,再捞出沥干后即可进行熟面条的质构测定^[28]。在TPA模式下,每次测定时将3~5根长度、宽度、弯曲度基本相同的面条平行放于质构仪的载物平台上,保持面条间的间距为

0.5 cm左右用探头进行压缩^[29]。在拉伸模式下,将面条缠绕于两根探测棒上对其进行拉伸,直到拉断为止,记录面条的最大拉断力及拉伸距离。目前最常用的拉伸探头有A/KIE和A/SPR,TPA模式的探头有HDP/PFS、A/LKB、HDP/LKB、P/50、P/35等^[28-36]。

面条的蒸煮时间、煮后面条的放置时间对质构测定有较大影响,应尽量保持各样品的一致性,以便得出更可靠的结论^[37]。吴伟都等^[38]研究了质构仪各测试条件对鲜湿面条质构测试结果的影响。研究表明,压缩速率对质构仪测定指标弹性、硬度影响显著,对内聚性、咀嚼性及回复性影响不显著;压缩程度对所有参数的影响均极显著;停留时间对硬度、内聚性、耐咀嚼性、回复性影响不显著,而对弹性影响显著,故应该选择合适的测试条件。

3.1.2 在提高面条感官品质研究中的应用 质构仪相对于感官评价的客观性使其应用于面条的品质评价中。赵登登等^[34]研究了面粉中淀粉组分与面条品质的关系。结果表明,面条中支链淀粉含量越高,面条的感官评分越高,质构特性也更好。许蒙蒙等^[30]将甘薯淀粉添加到面条中,通过质构仪评估了不同添加量下面条的质构特性,发现添加少量甘薯淀粉时,淀粉对面筋网络的填充使面筋网络充分扩展,对面条的质构有所改善,而添加过量的甘薯淀粉则会对面筋蛋白造成稀释,使面筋网络严重弱化,在烹煮时易崩坏,面条质构、感官品质下降。研究认为,甘薯淀粉质量分数不超过15%的添加量为最佳。许春华等^[33]则发现,在面条中添加刺槐豆胶、黄原胶、海藻酸钠及瓜尔胶等亲水胶体可能会形成连续的三维网络结构,其作用类似于面筋网络,可以提升面条的硬度,增加面条筋力、改善糊汤和断条问题。

3.1.3 在增加面条功能特性研究中的应用 由于饮食的富营养化,调整饮食结构成了目前的研究热点,而很多膳食纤维的直接添加会造成淀粉基食品品质的下降。陈书攀等^[39]通过质构仪测试评估了可溶性膳食纤维菊粉的添加对面条质构的影响。研究表明,菊粉的添加不仅能使面团更稳定,其弹性、延展性也会变好,且菊粉不被人体直接吸收,使得添加菊粉的面条有更好的保健功能,当菊粉替代小麦粉比例低于7.5%时,面条的质构特性变化较小,该比例可作为菊粉的最佳添加量。Mudgil等^[40]则将部分水解的瓜尔豆胶添加到面条中(替代面粉比例为1%~5%),发现替代比例为3.4%时面条有更柔软的质构、最大的内聚性、咀嚼性、回复性及最小的黏着性,该比例是改善面条质构特性、增加面条膳食纤维含量的最佳添加量。

燕麦籽粒含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质等,对人体有良好的保健作用,很多研究致力开发添加燕麦粉的保健面条,但燕麦粉的加入会降低面条总面筋蛋白含量导致面筋网络结构疏松,质构变差。牛巧娟等^[28]发现,当燕麦粉含量在10%~30%时,熟面条的弹性、内聚性、回复性没有发生显著变化,而燕麦粉含量达到40%及以上时,面条的各质构特征值会显著降低,据此确定燕麦面条的燕麦粉最佳添加量为30%。可见在很多产品研发过程中,质构仪

的应用为其最终工艺参数的确定起到决定性作用。

3.2 面包品质应用

3.2.1 面包质构测试 面包烘烤完毕后,先将其冷却,将面包切为10~20 mm左右的薄片,取靠近中心的两片叠放到质构仪载物台上,在TPA模式下进行质构测定^[41]。面包质构测定通常使用不同内径的平底柱形探头,如内径为36 mm的P/36R探头^[42]。面包的品质与其质构测定结果有紧密的联系。面包硬度、咀嚼性越大,其口感会越发硬,缺乏弹性、绵软而爽口的感觉;面包的弹性、回复性值越大,面包则会更柔软劲道,爽口不黏牙;面包老化则会使其硬度、咀嚼性增加,内聚性下降,口感也变差^[43-44]。有研究表明,面包质量评分与硬度、胶着性、咀嚼度、坚实度呈负相关性,而与黏着性、弹性、回复性呈显著正相关,以感官评价得到的面包总分和以质构仪测定得到的参数值有显著的相关性^[42]。还有研究发现面包存放时间对其质构测试结果有显著的影响,质构测试条件对面包硬度测定值的影响遵循以下主次关系:样品压缩程度>压缩速度>切片厚度^[45]。

3.2.2 在提高面包感官品质研究中的应用 “汤种”一词起源于日本,其含义为温热或稀的面种,为面粉与水按比例混合加热至面粉充分吸水形成有一定黏度的糊状物。杜昱蒙等^[43]利用质构仪分析了汤种面包的硬度、内聚性、回复性、咀嚼性。结果表明,汤种的应用可增大面包的含水量从而延缓其老化,汤种和水的适量添加(面团含水量和汤种添加量分别为76%~78%和75 g/100 g面粉)可以改善面包的质构品质,但汤种添加过多反而会造成面团硬度和咀嚼性增大。

许多食品添加剂也能改善面包的质构特性。徐梁等^[46]研究了不同 α -淀粉酶添加量(0.0003%、0.0006%、0.0009%)对面包质构的影响,发现 α -淀粉酶的添加可以有效延缓面包的陈化。其原因可解释为:添加了 α -淀粉酶的面包产生的糊精分子量较低,而低分子量糊精有利于淀粉与蛋白质之间界面扩散,干扰淀粉与连续蛋白质网络之间的相互作用,使面包陈化速率延缓。研究表明,添加0.0006%的 α -淀粉酶面包的比容最大,质构测定结果最好, α -淀粉酶添加量过大时则会产生较多的糊精导致面包发黏,弹性变差。Giannone等^[47]通过对面包的质构测定评估了一种新的酶制剂 α -淀粉脂肪酶对硬粒小麦面包的抗老化作用,这种酶制剂在面包贮藏期间可显著减缓面包的硬化速度,降低其咀嚼性,使其口感变好。

3.2.3 在增加面包功能特性研究中的应用 糊粉层是小麦籽粒皮层的最内层,含有较高的膳食纤维、粗蛋白、粗脂肪等营养成分,由于其极难物理剥离而常与外壳粘连在一起,作为麸皮一部分,各种功能价值得不到有效利用^[48]。Bagdi等^[49]研究了用近期开发出的富含糊粉层面粉制作而成面包的质构特性,发现相比普通小麦面包,其面包心的硬度增大了37%,弹性和内聚性则分别降低了16%、13%。Blandino等^[41]也观察到相比普通小麦面包,富含糊粉层面粉

制作面包硬度会显著增大(糊粉层面粉含量由0~25%时,面包硬度由1.82 N增加到7.00 N),而其弹性则无变化。虽然富含糊粉层面粉制作的面包质构特性有所下降,但其功能特性却大大增强。

在膳食结构日趋精细的今天,膳食纤维的重要生理作用被逐渐重视。但是添加了膳食纤维的面包硬度通常都会增大,造成感官品质的下降^[50]。李小平等^[44]将膳食纤维(以甘薯渣和小麦麸皮制得)以不同比例(2%、5%、8%)添加到小麦粉中制作出膳食纤维面包,通过对其进行感官评定和质构分析后得出:随着膳食纤维添加量的增加,面包的弹性、回复性降低,硬度、咀嚼度增加,其质构特性变差,而5%膳食纤维添加量面包的质构特性降低程度较低,故将其确定为最佳添加量。由此可见,将功能性成分、食品添加剂等加入面包改善其口感、质量时,产品的质构测定结果可为工艺参数的确定提供重要参考依据。

4 其他应用

除面条、面包外,质构仪也应用于其他淀粉基食品品质改善的实验中。陈佩等^[51]研究表明:直链低聚糖代替蔗糖的添加(取代量为40%)能够改善蛋糕的质构特性。赵欣欣等^[52]认为:面团的黏附性与内聚性对玉米曲奇饼干的酥松度影响较大,且均为负相关。谷朊粉添加量为2%(以总玉米粉计)时,饼干的酥松度最大,感官品质最好。Zhu等^[53]发现红茶提取物的添加(175 mg没食子酸当量/g小麦粉)对馒头的质构影响较小,故利用红茶提取物生产一种具有茶风味的馒头极具可能性。

质构仪也应用于多类淀粉基食品的工艺优化。陈洁^[54]等以紫甘薯和小麦粉为原料,采用感官评价结合质构仪测定的方法研究出紫薯薄脆饼的最佳配方为:紫薯全粉30 g,水55 g,糖粉40 g,食用植物油35 g,在180℃下焙烤10 min。赵敏等^[55]通过质构仪测定结合感官分析得出了每500 g玉米搅团的最佳配方为:玉米粉66.6 g,小麦面粉33.3 g,饮用水500 g,Na₂CO₃ 0.5 g。樊奇良等^[56]利用质构仪分析优化了黑麦粉饺子皮的制作配方:黑麦粉和面粉以1:3添加,加水量60%,加盐量2.0%。李玮等^[57]采用感官评定结合质构仪分析研究出红薯杂粮软糖的最佳配方为:红薯全粉15 g、玉米粉13 g、大豆粉5 g、麦芽糖醇25 g、木糖醇5 g、山梨醇24 g、麦芽糖57 g、卡拉胶16 g。部分淀粉基食品品质优劣与其质构仪参数值的关系见表3。

还有一些研究基于质构仪建立了新的测定方法。根据直链淀粉含量越高形成的氢键越多,其淀粉凝胶的硬度也越大的原理,王福彬等^[61]建立了利用质构仪测定大米直链淀粉含量的分析方法,并通过实验证明:该方法的线性关系良好,准确度、精密度都较高,适合用于高直链淀粉含量淀粉的测定。

淀粉糊的糊丝长度可用来表征淀粉糊黏韧性的,高低此性质对其应用有很大影响。黄悦雄等^[62]研究了用质构仪测定淀粉糊糊丝长度的方法,通过采用质构仪的拉伸模式,以探头提拉淀粉糊测得的拉

表3 部分淀粉基食品品质优劣与其质构仪参数值的关系表
Table 3 Relationship between the quality of some starch based foods
and the parameter values of these foods determined by texture analyzer

淀粉基食品	品质优劣与质构仪参数值关系	探头及测试条件	质构仪	参考文献
粉丝	优: 0.71 < 内聚性 < 0.83; 硬度 > 261; 弹性 < 1.67; 黏着性 < -0.5 良: 0.84 < 内聚性 < 0.85; 201 < 硬度 < 261; 2.2 < 弹性 < 3.9; -2.9 < 黏着性 < -0.8 中: 201 > 硬度 > 189; 4.0 < 弹性 < 7.9 差: 内聚性 < 0.7; 硬度 < 189; 弹性 > 9.5; 黏着性 < -3.9	P/0.5 探头 测定前速度 2 mm/s 测定 速度 1 mm/s 测定后速度 2 mm/s 压 缩程度 45% 感受力 1000 g 压缩间 隔 5 s	TA-XT2i /Stable Micro System(英国)	[58]
面条	优: 3500 < 硬度 < 4000; 700 < 最大剪切力 < 1000; 20 < 拉断力 < 35	HDP/PFS 探头 测定前速度 2 mm/s , 测定速度 0.8 mm/s ,测定后速度 0.8 mm/s 压缩程度 70% 触发力 3 g , 压缩间隔 1 s	TA-XT2i /Stable Micro System(英国)	[59]
凝胶 软糖	较硬: 硬度 ≥ 10000 适中: 50000 < 硬度 < 10000 柔软: 硬度 < 5000	P/36R 探头 测定前速度、测定速度、 测定后速度均为 2 mm/s ,压缩程度 50% 触发力 5 g 停留时间 5 s	TA.XT plus /Stable Micro System(英国)	[60]
饺子皮	优: 弹性: 1.616; 咀嚼性: 7.023	P/35 探头 测定前速度 1 mm/s 测定 速度 0.8 mm/s 测定后速度 0.8 mm/s , 压缩程度 50% 触发力 5 g 压缩间隔 1 s	TA.XT plus /Stable Micro System(英国)	[56]

伸特征曲线分析糊丝的形成和断裂过程,从而计算糊丝长度。实验表明:该方法有很好的重现性和准确性。

5 展望

目前,质构仪已应用于淀粉及多类淀粉基食品品质测定,但是由于样品、质构条件设定的差异,质构仪的应用还没有统一的标准与规范,质构仪的标准化应用将会是未来研究的热点。尽管诸多研究证明:淀粉的质构特性与淀粉基食品品质间有较高的相关性,但淀粉的质构测定如何更好地指导实践仍是需要继续研究的课题,将淀粉的质构特性与淀粉基食品的产品特性联系起来,会大幅提升产品评价及新产品研发的效率。质构仪在粉条、粉皮中的应用涉及较少,加强这方面的研究可为这种食品确立更好的测定方法及质构仪评价标准。此外,质构仪应用需和感官评定相结合,这就需要研究者们建立质构仪测定参数值与感官评分之间关系的完善体系。在淀粉的性质研究及淀粉基食品的生产指导方面,质构仪应用仍有很大的发展空间及潜力。

参考文献

- [1] 贺丽霞,王敏,黄忠民.质构仪在我国食品品质评价中的应用综述[J].食品工业科技,2011,32(9):446-449.
- [2] 林芳栋,蒋珍菊,廖珊,等.质构仪及其在食品品质评价中的应用综述[J].生命科学仪器,2009,7(5):61-63.
- [3] 楚炎沛.物性测试仪在食品品质评价中的应用研究[J].粮食与饲料工业,2003(7):40-42.
- [4] 程学勋,林洁文,黄敏,等.质构仪及其在食品研究中的应用简介[J].广东化工,2012,39(9):164-165,146.
- [5] 孙彩玲,田纪春,张永祥.质构仪分析法在面条品质评价

中的应用[J].实验技术与管理,2007,24(12):40-43.

- [6] 王晓彬,郭兴凤,姜微娜.测定条件对面条质构特性测定结果的影响[J].河南工业大学学报:自然科学版,2009,30(1):14-17.
- [7] 胡亚云.物性测试仪在葡萄品质评价中的应用[J].食品研究与开发,2013,34(21):123-127.
- [8] 刘亚平,李红波.物性分析仪及 TPA 在果蔬质构测试中的应用综述[J].山西农业大学学报:自然科学版,2010,30(2):188-192.
- [9] 朱丹实,李慧,曹雪慧,等.质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J].食品科学,2014,35(7):264-269.
- [10] 纪宗亚.质构仪及其在食品品质检测方面的应用[J].食品工程,2011(3):22-25.
- [11] 许凯希,郭元帅,刘书来.食品感官质构评定的研究进展[J].浙江农业科学,2015,56(11):1766-1771.
- [12] 吴洪华,姜松.食品质地及其 TPA 测试[J].食品研究与开发,2005,26(5):130-133.
- [13] 王海鸥,姜松.质构分析(TPA)及测试条件对面包品质的影响[J].粮油食品科技,2004(3):1-4.
- [14] 张兆琴,毕双同,蓝海军,等.大米淀粉的流变性质和质构特性[J].南昌大学学报(工科版),2012,34(4):358-362.
- [15] Lu Y, Xu M, Wang G, et al. Interaction of diethyl aniline methylphosphonate with DNA: Spectroscopic and isothermal titration calorimetry[J]. Journal of Luminescence, 2011, 131(5): 926-930.
- [16] Ong M H, Blanshard J M V. Texture determinants in cooked, Parboiled. I: Rice starch amylase and the fine structure of amylopectin[J]. Journal of Cereal Science, 1995, 21(3): 251-260.
- [17] 杨玉玲,张沫,陈银基,等.绿豆淀粉凝胶的质构特性和超微结构研究[J].中国粮油学报,2014,29(4):36-41.

- [18] 夏文, 付玮瑾, 刘成梅, 等. 米糠膳食纤维对大米淀粉老化进程的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 19-21, 29.
- [19] 付蕾, 田纪春. 抗性淀粉对小麦粉凝胶质特性影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 40-43, 48.
- [20] 李春红, 张明晶, 潘家荣. 物性测试仪在粘稠类食品品质评价上的应用研究[J]. 现代科学仪器, 2006(6): 111-113.
- [21] Kong X, Zhu P, Sui Z, et al. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 433-440.
- [22] Mir S A, Bosco S J D. Cultivar difference in physicochemical properties of starches and flours from temperate rice of Indian Himalayas [J]. Food Chemistry, 2014, 157: 448-456.
- [23] Wang L, Xie B, Shi J, et al. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(2-3): 208-216.
- [24] Farahnaky A, Alishahi A, Majzoubi M, et al. Effect of mixing speed and time on some textural and physicochemical properties of wheat starch gels [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 142: 138-145.
- [25] Seetapan N, Limpanyoon N, Gamonpilas C, et al. Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice flour/tapioca starch blend gel [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 151: 51-59.
- [26] 李卓瓦, 王春, 陈洁. 质构仪拉伸实验在面粉品质评价中的应用[J]. 粮食加工, 2006(4): 90-91.
- [27] 雷激, 张艳, 王德森, 等. 中国干白面条品质评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 2000-2005.
- [28] 牛巧娟, 陆启玉, 章绍兵, 等. 鲜湿燕麦面条的品质改良研究[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 156-161.
- [29] 张美霞, 谭美龄. 质构法快速测定金银花面条品质的方法研究[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 112-115.
- [30] 许蒙蒙, 关二旗, 卞科. 谷朊粉和甘薯淀粉对面条品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(3): 28-34.
- [31] 张钟, 李凤霞, 张惠英. 玉米抗性淀粉的添加对面条品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2014(1): 24-26, 29.
- [32] 刘亚伟, 王瑞娟, 刘晓峰, 等. 玉米粉改性对玉米面条质构特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(7): 29-31.
- [33] 许春华. 亲水胶体对面条品质影响的研究[J]. 粮食与食品工业, 2013, 20(6): 45-49, 52.
- [34] 赵登登. 淀粉种类和性质与鲜湿面条品质关系的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [35] 王晶晶. 小麦面筋蛋白对面条品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- [36] 周明, 黎冬明, 郑国栋, 等. 黑麦面条工艺优化及质构特性的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(1): 121-124.
- [37] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007, 5(2): 1-4.
- [38] 吴伟都, 董海英, 朱慧, 等. 质构分析(TPA)及测试条件对新鲜湿面品质的影响[J]. 食品科技, 2008(8): 196-199.
- [39] 陈书攀, 何国庆, 谢卫忠, 等. 菊粉对面团流变性及面条质构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7): 170-175.
- [40] Mudgil D, Barak S, Khatkar B S. Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 104-110.
- [41] Blandino M, Sovrani V, Marinaccio F, et al. Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated pearled wheat fraction [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2549-2557.
- [42] 彭义峰, 刘彦军, 班进福. 面包总评分与质构分析(TPA)相关性的探讨[J]. 农业机械, 2011(5): 119-123.
- [43] 杜昱蒙, 张连驰, 朱小天, 等. “汤种”影响面包质构的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 152-156.
- [44] 李小平, 陈春. 2 种膳食纤维面包的研制及品质评价[J]. 农产品加工(学刊), 2013(12): 42-44.
- [45] 杨瑞征, 任小利, 毛根武, 等. 面包质构特性测定方法的研究(IV)——面包质构测试条件对面包硬度测定值的影响[J]. 粮食储藏, 2011(4): 38-41.
- [46] 徐梁. α -淀粉酶添加量对面包品质的影响[J]. 现代面粉工业, 2014(2): 20-21.
- [47] Giannone V, Lauro M R, Spina A, et al. A novel α -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 381-389.
- [48] 田丰贺. 小麦糊粉层的剥离及利用研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2012.
- [49] Bagdi A, Tóth B, Lörincz R, et al. Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 65: 762-769.
- [50] Sodhi N S, Singh N. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(1): 117-127.
- [51] 陈佩, 赵冰, 庞雨辰, 等. 直链低聚糖对蛋糕品质的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 178-181.
- [52] 赵欣欣, 杨春华, 刘琳琳, 等. 谷朊粉添加量及玉米配比对玉米曲奇饼干品质的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2014(12): 18-21.
- [53] Zhu F, Sakulnak R, Wang S. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1217-1223.
- [54] 陈洁, 陈玲, 郭娟娟, 等. 紫薯薄脆饼干制作配方[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 224-228.
- [55] 赵敏. 淀粉类凝胶食品制备及特性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- [56] 樊奇良, 章烜. 黑麦粉饺子皮生产工艺及品质的研究[J]. 粮食科技与经济, 2014, 39(6): 66-69.
- [57] 李玮, 王秋成, 高鸿, 等. 红薯杂粮软糖的研制[J]. 食品工业, 2014, 35(12): 8-12.
- [58] 邓珍珍. 粉丝品质和耐煮增筋工艺的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
- [59] 刘增贵. 湿生面条的保鲜研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [60] 李丹丹, 李沛生, 阮征. 凝胶软糖质构特性的感官评定与仪器分析研究[J]. 食品工业, 2011(7): 47-49.
- [61] 王福彬, 邢凤兰, 翟丽萍, 等. 利用质构仪测定大米直链淀粉含量可行性研究[J]. 齐齐哈尔大学学报: 自然科学版, 2013, 29(3): 50-52.
- [62] 黄悦雄, 刘振翔, 黄立新. 质构仪测定淀粉糊糊丝长度的方法[J]. 食品科学, 2005, 26(3): 83-86.