

# 汤圆TPA质构特性测试条件的优化

朱津津, 潘治利, 谢新华, 索 标, 岳宗阳, 艾志录\*  
(河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 对汤圆进行TPA测试, 选取测试速度和压缩比为研究对象, 分析对汤圆TPA质构测定值的影响。结果表明: 测试速率对结果影响不显著, 压缩比对考察的质构参数均有非常显著的影响, 对硬度和回复性进行二次多项式拟合, 拟合模型具有统计学意义。速冻汤圆较为理想的测试条件为: 测试速率1mm/s, 压缩比60%。

**关键词:** TPA; 汤圆; 测试速率; 压缩比

## Optimization of Testing Conditions for TPA Analysis of Rice Dumplings

ZHU Jin-jin, PAN Zhi-li, XIE Xin-hua, SUO Biao, YUE Zong-yang, AI Zhi-lu\*  
(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan)

**Abstract:** The optimal testing conditions of textural property analysis (TPA) for rice dumplings were explored. Testing speed and compression ratio were selected as research objects. The results showed that compression ratio had a significant impact on textural parameters. Quadratic models were fitted for hardness and resilience, which revealed a statistically significant difference. The ideal testing conditions were testing rate of 1 mm/s and compression ratio of 60%.

**Key words:** textural property analysis (TPA); rice dumpling; testing rate; compression ratio

中图分类号: TS210.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)06-0171-04

质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)是研究制品质构特性最常用的方法<sup>[1]</sup>。目前, 质构测定特别是质地多面剖析法在食品开发中的应用很广泛, 国内外在此方面的相关报道<sup>[2-12]</sup>也很多, 其测定结果主要反映在质构仪的实际效用和评价某种食品的一个或几个质构特性值上。不同的测试条件所获得的曲线和数据结果不同, 因此, 选择合理的测试条件是保证对产品质构特性科学评价的关键<sup>[13]</sup>。姜松等<sup>[14-16]</sup>、吴伟都等<sup>[17]</sup>、王晓彬等<sup>[18]</sup>、余秀芳等<sup>[19]</sup>分别对茼蒿、苹果片、鸡肉肠、湿面、面条、水煮蛋等进行了测试条件的研究, 为其进一步的研究提供了基础。本研究主要目的在于应用质构分析仪对汤圆进行TPA测试, 探索测试速率和压缩比对TPA质构指标的影响, 优化其TPA质地评价的测试参数, 为建立汤圆质构测试标准提供一定的基础。

## 1 材料与仪器

### 1.1 材料与仪器

糯米粉、黑芝麻、猪板油、白砂糖均市售。

HLSY-II 小型速冻试验机 郑州亨利制冷设备有

限公司; BD/BC-102C型变温冷冻冷藏箱 星星集团有限公司; FA6102/FA2004A型电子天平 上海精天电子仪器有限公司; TA-XT2i质构仪 英国Stable Micro Systems公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 汤圆生产工艺

汤圆制作流程: 原辅料处理→制馅→调制面皮→包馅成型→速冻→冷藏; 馅心制作流程: 黑芝麻→去砂除杂→清洗→沥干→炒熟→冷却→磨粉→其余辅料磨碎加入、搅拌均匀→调馅→搓圆→称量→速冻→馅心。面皮制作添加85%的水和制, 馅心配料比例为: 黑芝麻:白糖:猪油(m/m)=130:120:110。

#### 1.2.2 汤圆煮制处理

取6个汤圆放入1000mL沸水中, 大火煮至汤圆浮起后, 再调成小火煮制3min。

#### 1.2.3 TPA测试

取煮制后的汤圆置于饭盒中, 1min后用质构仪进行TPA测试。采用P50探头, 测试条件确定如下: 在固定压缩比的前提下, 进行不同的测试速率测试。测前速率2mm/s, 测试速率分别设为1.0、2.0、3.0、4.0、5.0mm/s

收稿日期: 2012-02-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31071598); 河南省科技厅重大科技攻关项目(072101110100);

郑州市科技局重大科技攻关项目(072SGZN12029)

作者简介: 朱津津(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为速冻食品。E-mail: xczjj1986@163.com

\*通信作者: 艾志录(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品精深加工与速冻食品。E-mail: zhila@163.com

五个水平；测后速率与测试速率一致；压缩比分别设为30%、40%、50%、60%、70%五个水平；停留间隔2s；触发值5g。

#### 1.2.4 数据处理

每项测试重复5次，结果取其平均值。数据利用Excel 2003和Spss 17.0统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 压缩比和测试速率对硬度测量值的影响

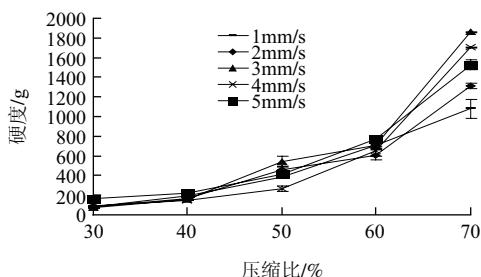


图1 压缩比和测试速率对硬度测量值的影响

Fig.1 Effect of compression ratio and testing rate on hardness

影响产品硬度的因素很多，产品的含水量、蛋白质含量、淀粉含量、胶类物质种类及添加量等都会对硬度值有影响。由图1可以看出，在不同的测试速率下，硬度测量值受压缩比影响的变化趋势基本一致，即随着压缩比的增大而显著增加，而测试速率对硬度的影响很小。在压缩比30%~70%范围内，硬度随压缩比的增加呈线性升高趋势，但在30%~60%范围内趋势较缓，在60%~70%时斜率明显增大，不同测试速率下硬度测量值也显著增加。这是因为在压缩比60%~70%范围内，汤圆开始出现受压破裂，内部紧密的组织结构遭到破坏，试样出现挤压堆积现象，对探头的抵抗力增大，硬度值也随之显著升高。

### 2.2 压缩比和测试速率对弹性测量值的影响

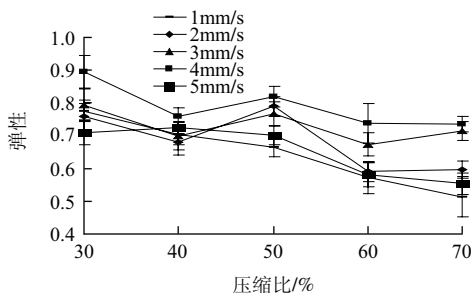


图2 压缩比和测试速率对弹性测量值的影响

Fig.2 Effect of compression ratio and testing rate on springiness

汤圆从力学性质上说属于黏弹性体，当去掉载荷时，被拉伸的汤圆收缩一部分，但不能完全恢复原来长

度，有永久变形，这是黏性流动表现，即汤圆同时表现出类似液体的黏性和类似固体的弹性。研究黏弹性体的流变性质很复杂，由图2可以看出，在不同的测试速率下，弹性测量值受压缩比影响的变化趋势呈现比较复杂的无规律性变化。因此，TPA不适用于汤圆的弹性指标测试。对于黏弹性体的流变性质，建议采用应力松弛试验和蠕变试验较好。

### 2.3 压缩比和测试速率对凝聚性测量值的影响

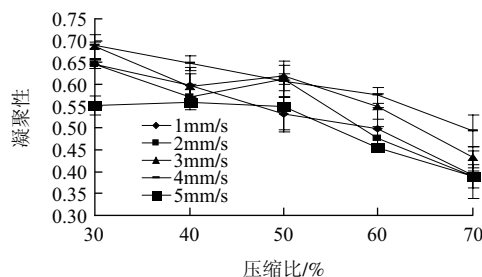


图3 压缩比和测试速率对凝聚性测量值的影响

Fig.3 Effect of compression ratio and testing rate on cohesiveness

影响产品内聚性的因素很多，液体黏结、毛细管吸引力及汤圆本身黏结性对其的影响最大。由图3可以看出在不同的测试速率下，凝聚性测量值受压缩比影响的变化趋势基本一致，即随着压缩比的增大而减小，而压缩速率对凝聚性的影响很小。

### 2.4 压缩比和测试速率对咀嚼性测量值的影响

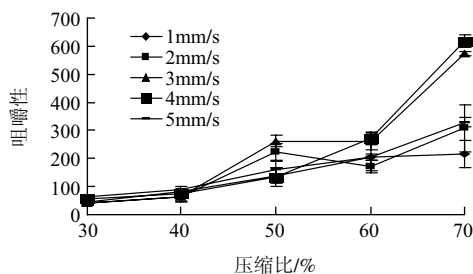


图4 压缩比和测试速率对咀嚼性测量值的影响

Fig.4 Effect of compression ratio and testing rate on chewiness

咀嚼性是指与硬度、内聚性和弹性有关，将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功的大小。在数值上等于硬度、内聚性和弹性三者的乘积。理论上，影响到上述三者的因素都会对产品的咀嚼性产生影响。有关产品咀嚼性方面的研究鲜有报告，Mohammad<sup>[20]</sup>研究认为硬度与咀嚼性呈极显著正相关。由图4可以看出：在不同的压缩速率下，咀嚼性测量值受压缩比影响的变化趋势与硬度基本一致，即随着压缩比的增大而增大；在压缩比30%~60%范围内，咀嚼性测量值随测试速率的变化趋势不明显，在60%~70%时差异性明显增大，出现较大转折。这是因为压缩比在60%~70%范围内时，咀嚼性随硬度值的显著增大而增大。

## 2.5 压缩比和测试速率对回复性测量值的影响

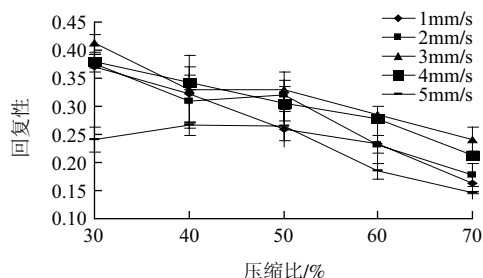


图5 压缩比和测试速率对回复性测量值的影响

Fig.5 Effect of compression ratio and testing rate on resilience

回复性反映了食品以弹性变形保存的能量,表示变形样品在与导致变形同样的速度、压力条件下回复的程度。也有学者用下压回复性来反映产品连续抗压的能力,用第2压缩周期中峰值与第1压缩周期中峰值的比值表示<sup>[21]</sup>。由图5可看出,在不同测试速率下,凝聚性测量值受压缩比影响的变化趋势基本一致,即随着压缩比的增大而减小,而测试速率对凝聚性的影响很小。

## 2.6 最佳压缩比和测试速率的确定

从图1~5可以看出:测试速率对各项指标测量值均无显著性影响。弹性、凝聚性、回复性均在一定程度上表征样品在外力作用后恢复的能力,弹性、凝聚性、回复性呈明显上升趋势,表明随着测试速率增大,探头与样品接触越不完全,对样品的压缩强度越小,越不能准确代表样品的质构特性。因此测试速率选用1mm/s较为合适。测试速率为1mm/s的汤圆在不同压缩比下的质地参数和质构图谱分别见表1和图6。

表1 测试速率为1mm/s的汤圆在不同压缩比下的质地参数  
Table 1 Texture parameters of rice dumplings determined at the conditions with different compression ratios and testing rate of 1 mm/s

压缩比/%	硬度/g	弹性	凝聚性	咀嚼性	回复性
30	86.81±8.68 <sup>a</sup>	0.77±0.02 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>a</sup>	43.42±4.41 <sup>c</sup>	0.37±0.01 <sup>a</sup>
40	191.05±9.64 <sup>d</sup>	0.70±0.03 <sup>a</sup>	0.60±0.03 <sup>ab</sup>	80.61±9.79 <sup>bc</sup>	0.32±0.02 <sup>b</sup>
50	388.38±12.45 <sup>c</sup>	0.67±0.03 <sup>ab</sup>	0.53±0.03 <sup>bc</sup>	138.91±27.50 <sup>bc</sup>	0.26±0.03 <sup>c</sup>
60	709.12±27.71 <sup>b</sup>	0.57±0.05 <sup>bc</sup>	0.49±0.05 <sup>c</sup>	203.24±46.10 <sup>a</sup>	0.23±0.03 <sup>c</sup>
70	1078.89±93.89 <sup>a</sup>	0.51±0.06 <sup>c</sup>	0.39±0.05 <sup>d</sup>	215.96±47.19 <sup>a</sup>	0.16±0.02 <sup>d</sup>

注:同列数据肩标字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

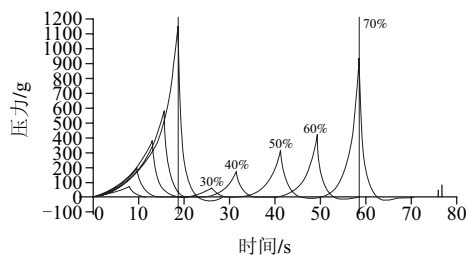


图6 测试速率为1mm/s的汤圆在不同压缩比下的质构图谱

Fig.6 Texture spectra of rice dumplings determined at the conditions with different compression ratios and testing rate of 1 mm/s

压缩比对各项指标测量值均有显著性影响,其中硬度,咀嚼性随压缩比的增加而升高,回复性随压缩比的增加而降低,弹性,凝聚性随压缩比的增加而减小,但压缩比增大到70%时有回升。从图6可以看出,当压缩比小于70%时曲线呈现较好的对称性,当压缩比在70%时曲线的对称性明显下降,这表明压缩比在70%时,样品的破碎程度已经不能表征样品质构特性,探头与破碎后的样品接触时间与完整样品接触时间之间的误差造成弹性和凝聚性的反弹回升。TPA测试属大变形破坏性测试项目,如果压缩程度很小,测试样品没有出现明显的屈服现象,则不能很好地反映样品两次压缩后内部结构及外观的变化;如果压缩过度,则会导致测试样品严重破损,恢复能力大大降低,并产生较为严重的破裂堆积,不能反映试样真实受压状态。因此压缩比选60%较为合适。

通过Spss软件将硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性、回复性对压缩比进行线性模型、对数模型、指数模型、二次多项式模型拟合,通过 $R^2$ 比较各模型的优劣, $R^2$ 越大,则模型越优。比较得出二次多项式模型相对较优,故采用二次多项式模型进行分析。硬度和回复性的拟合度 $R^2$ 分别达到0.992和0.969,与实验测试结果相当吻合,因此在一定程度上可以用于汤圆硬度和回复性的预测。硬度和回复性的二次多项式拟合曲线如图7所示。

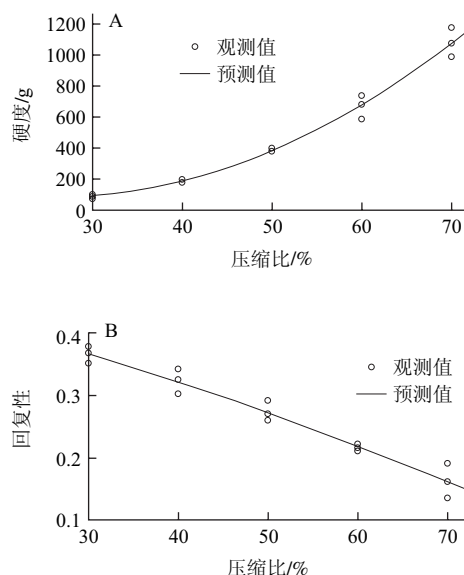


图7 硬度(A)和回复性(B)对压缩比的拟合结果

Fig.7 Fitting results of hardness (A) and resilience (B) versus compression ratio

## 3 结论

本实验探索了测试速率和压缩比对速冻汤圆TPA质地参数的影响。结果表明:压缩比对各项指标测量值均有显著性影响,建议选用60%较为合适。测试速率对各

项指标测量值均无显著性影响, 建议选用1mm/s较为合适。用二次多项式模型对硬度和回复性进行拟合,  $R^2$ 分别达到0.992和0.969, 具有统计学意义, 可用于汤圆硬度和回复性的预测分析。

#### 参考文献:

- [1] 柳艳霞, 李苗云, 赵改名, 等. 压缩比对火腿肠制品质构特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 10-13.
- [2] FOEGEDING E A, RAMSEY S R. Effect of gums on low-fat meat batters[J]. Journal of Food Science, 1986, 51(1): 33-36.
- [3] ANDRÉS S C, GARCÍA M E. Storage stability of low-fat chicken sausages[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 72(4): 311-319.
- [4] XIONG Youling, NOEL D C, MOODY W G. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(3): 550-554.
- [5] 姚立霞, 杜先锋, 殷阳生. 玉米磷酸酯淀粉对鸡肉火腿肠制品质构的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(4): 105-108.
- [6] GONZALEZ-FERNANDEZ C, SANTOS E M, ROVIRA J, et al. The effect of sugar concentration and starter culture on instrumental and sensory textural properties of chorizo-Spanish dry-cured sausage[J]. Meat Science, 2006, 74(3): 467-475.
- [7] 郭兴凤, 慕运动. 几种因素对肉制品质构测定结果的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(5): 51-52.
- [8] 陈娟, 徐学明. 软曲奇质地的TPA质构分析[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 194-198.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 郭兴凤, 慕运动. 蒸煮大米质构特性测定方法分析[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 9-11.
- [12] 战旭梅, 郑铁松, 陶锦鸿. 质构仪在大米品质评价中的应用研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 62-65.
- [13] 屠康. 食品物性学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006: 115-116.
- [14] 姜松, 覃婷婷. 测试条件对茼蒿组织TPA质地参数的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(24): 10319-10321.
- [15] 姜松, 王海鸥. TPA质构分析及测试条件对苹果TPA质构分析的影响[J]. 食品科学, 2008, 25(12): 68-71.
- [16] 姜松, 边兴伟, 赵杰文, 等. 测试条件对鸡肉火腿肠TPA质地参数的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(1): 54-58.
- [17] 吴伟都, 董海英, 朱慧, 等. TPA及测试条件对湿面质构分析的影响[J]. 粮油加工, 2008(5): 84-86.
- [18] 王晓彬, 郭兴凤, 娄微娜, 等. 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, 2009, 30(1): 14-17.
- [19] 余秀芳, 马美湖, 杨芳, 等. 形变速率和压缩程度对水煮蛋质构分析的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 147-151.
- [20] MOHAMMAD S R. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(4): 505-511.
- [21] 徐亚丹. 基于质地及动力学特性的牛肉新鲜度检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.