

# 响应面法分析 TPA 测试参数对酸奶质构的影响

杨莹莹<sup>1</sup>, 贺红军<sup>1</sup>, 郭萌萌<sup>1</sup>, 孙宁<sup>1</sup>, 李新<sup>2</sup>

(1. 烟台大学生命科学学院, 山东烟台 264005) (2. 烟台大学文经学院, 山东烟台 264005)

**摘要:** 本文利用响应面方法分析在 TPA 测试中不同的压缩程度和压缩测试速率对凝固型酸奶质构参数的影响。结果表明压缩程度对硬度、粘性、内聚性、胶黏性影响极显著( $P$  值均为  $P \leq 0.0001$ ); 压缩测试速率对硬度、粘性有极显著影响( $P$  值均为  $P \leq 0.0001$ ); 对胶黏性有显著影响( $0.01 < P = 0.0316 < 0.05$ ); 对内聚性无显著影响( $0.01 < P = 0.0316 < 0.05$ )。总体上压缩程度对各项质构结果影响较大, 而压缩测试速率对其影响较小。因此, 在选择合适的测试条件时, 可以更多地考虑压缩程度的影响。

**关键词:** 凝固型酸奶; TPA 测试; 响应面

文章编号: 1673-9078(2013)6-1281-1284

## Effects of Experimental Conditions on the Texture Properties of Set-style

### Yoghurt in TPA Test: an RSM Approach

YANG Ying-ying, HE Hong-jun, GUO Meng-meng, SUN Ning, LI Xing

(1. College of Life Sciences, YanTai University, Yantai 264005, China)

(2. WenJing College, YanTai University, Yantai 264005, China)

**Abstract:** In this work the influence of the degree of deformation and compression speeds on the mechanical parameters of set-style yoghurt in TPA test was studied by response surface methodology. Results showed that the degree of deformation had very significant effect on hardness, adhesiveness, cohesiveness and gumminess of the yoghurt ( $P \leq 0.0001$ ). Compression speed had significant influence on hardness and adhesiveness ( $P \leq 0.0001$ ). Compression speed had significant influence on cohesiveness ( $0.01 < P = 0.0316 < 0.05$ ). Compression speed had no significant influence on gumminess. In general, these textural parameters involved depend mainly on the deformation. So the deformation should be more considered when choosing the appropriate conditions.

**Key words:** set-style yoghurt; Texture Profile Analysis; response surface methodology

感官评价在食品品质评价中占有重要地位<sup>[1]</sup>。但感官评价会带有评价者的主观因素。物性测试仪能够对样品特性给出数据化的表达<sup>[2]</sup>。近年来, 物性分析仪已经广泛应用于许多食品的质地结构测定。质构剖面分析法(Texture Profile Analysis, TPA)作为物性分析仪测试方法之一, 已成为质构分析的一个重要手段。TPA 质构测试又被称为两次咀嚼测试(Two Bite Test), 主要是通过模拟人口腔的咀嚼运动对样品进行两次压缩测试并与微机连接, 通过界面输出质构测试曲线, 从中可以分析质构特性参数<sup>[3]</sup>。国内外已经研究了不同的测试条件对土豆及苹果<sup>[4]</sup>、面包<sup>[5]</sup>等质构结果的影响。也有利用 TPA 测试分析不同加工工艺对奶酪<sup>[6]</sup>、酸奶<sup>[7]</sup>等产品品质影响的研究。但到目前为止还少有相关文献报导不同测试条件对凝固型酸奶质构参数

收稿日期: 2013-01-26

作者简介: 杨莹莹(1988-), 女, 研究生, 研究方向为农畜产品加工与贮藏

通讯作者: 贺红军(1967-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为农畜产品加工与贮藏

响的研究。

在 TPA 测试中, 测试条件可能影响质构特性结果<sup>[8]</sup>, Boyd<sup>[9]</sup>以及 Shama<sup>[10]</sup>的研究中发现为保证实验结果的可重复性, 测试速率应该作为一个重要的控制参数。同时 Bourne<sup>[11]</sup>研究发现压缩程度对于质构特性参数如硬度、粘性、弹性、内聚性都有一定影响。Emmanuel<sup>[12]</sup>的研究认为压缩程度是影响质构特性结果的最主要参数, 同时压缩速率对质构各特性参数的影响也不容忽视。且有些质构特性参数也会受到这两个测试条件的交互影响作用。

响应面法(Response Surface Methodology)是利用合理的试验设计, 采用多元二次回归方程拟合因素与响应值之间的函数关系, 通过对回归方程来分析自变量及自变量间交互作用对响应值的影响, 解决多变量问题的一种统计方法。

综上, 本文结合了响应面方法分析不同的压缩程度、压缩速率以及二者的交互作用对凝固型酸奶质构特性参数的影响, 为此质构仪在酸奶质地的测定应用

中提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

家家乐发酵剂：哈尔滨美华生物技术股份有限公司；全脂奶粉：内蒙古伊利实业集团股份有限公司；蔗糖：市售；TMS-Pro 型质构仪：美国 Food Technology Corporation (FTC) 公司；BHC-1300IIA/B2 型生物洁净安全柜：苏州净化设备有限公司；BCD-539WT 型海尔双开门冰箱：青岛海尔股份有限公司；LDZX-30KBS 型立式压力灭菌器，上海申安医疗器械；C21A01 型苏泊尔微电脑电磁炉，浙江苏泊尔股份有限公司；MP200A 型分析天平，上海精密科学仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 凝固型酸奶的工艺流程

菌种活化

↓

全脂奶粉溶解→杀菌→冷却→接种→发酵→后熟→成品

#### 1.2.2 TPA 测试实验

用美国 Food Technology Corporation (FTC) 公司的 TMS-Pro 型质构仪对酸奶样品进行 TPA 测试。测试探头型号为 TMS-75 mm 圆盘挤压探头 P75。测试条件如下：测前速率为 30 mm/min；测后速率与测前速率一致；两次压缩之间的停留间隔：0s；采样速度：10 Hz；最小触发力：0.3 N；每项测试重复 3 次。选定压缩程度和压缩测试速率两个因素进行中心组合设计优化实验。实验因素与水平设计如表 1。

表 1 实验因素与水平表

Table 1 Factors and levels in the design

因素	水平		
	-1.414	0	+1.414
压缩测试速率/(mm/min)	30	90	150
压缩程度/%	10	30	50

根据中心组合设计方案(Central Composite Design)进行实验后，对数据进行二次回归拟合，得到合适的回归方程，对此方程所代表的面进行分析，可以分析响应值随实验因素的变化趋势，或是指明在哪些方向上再进行实验可得到更好的结果<sup>[13]</sup>。实验设计与统计分析软件为 Design Expert 8.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 响应值结果

根据中心组合设计方案，以硬度、粘性、内聚性、胶黏性为响应值，以压缩程度和压缩测试速率为自变

量进行实验。所得的实验结果如表 2。

表 2 中心组合设计方案及测定结果

Table 2 Central Composite Design and corresponding experimental results

Run	A (压缩程度 /%)	B [测试速率 / (mm/min)]	响应值 1 (硬度 /N)	响应值 2 (粘性 /N.mm)	响应值 3 (内聚性 /ratio)	响应值 4 (胶黏性 /N)
1	0.000	0.000	6.76	24.25	0.30	2.03
2	0.000	0.000	6.80	37.21	0.29	1.97
3	0.000	1.414	7.04	186.58	0.29	2.06
4	0.000	-1.414	5.64	25.64	0.29	1.64
5	1.414	0.000	6.90	69.91	0.34	2.35
6	-1.000	1.000	6.83	93.60	0.26	1.77
7	1.000	1.000	6.89	173.48	0.35	2.41
8	-1.000	-1.000	5.55	11.64	0.27	1.54
9	0.000	0.000	6.74	37.44	0.31	1.98
10	0.000	0.000	6.83	37.45	0.29	1.99
11	-1.414	0.000	6.05	15.47	0.19	1.16
12	1.000	-1.000	6.20	58.93	0.37	2.29
13	0.000	0.000	6.73	37.55	0.32	2.15

### 2.2 回归方程各项的方差分析结果

将所得的实验数据采用 Design Expert 8.0 软件进行多元回归拟合，剔除不显著项，得到以各响应值为目标函数的二次回归方程。

$$\text{硬度} = 6.77 + 0.24A + 0.49B - 0.15AB - 0.16A^2 - 0.23B^2 \quad (1)$$

$$\text{粘性} = 34.78 + 25.47A + 53.02B + 8.15AB + 6.40A^2 + 38.19B^2 \quad (2)$$

$$\text{内聚性} = 0.30 + 0.05A - 3.02 \times 10^{-3}B \quad (3)$$

$$\text{胶黏性} = 1.95 + 0.38A + 0.12B \quad (4)$$

在式中压缩程度 A，压缩测试速率 B 均经过量纲 1 线性编码处理，方程中各项系数绝对值的大小直接反映了各因素对指标值的影响程度，系数的正负反映了影响的方向<sup>[4]</sup>。由方程(1)可知压缩程度和压缩测试速率的两线性项以及压缩测试速率的二次项对硬度的影响较大；由方程(2)可以看出压缩程度和压缩测试速率的一次项以及压缩测试速率的二次项对硬度的影响明显；由方程(3)看出压缩程度的一次项对内聚性影响显著。由方程(4)可知压缩程度的影响大于压缩测试速率对胶黏性的影响。

为了检验方程的有效性，对所得的数学模型进行方差分析。结果如表 3 所示。

在模型中 P>0.10，模型或考察因素影响不显著；P<0.05，模型或考察因素有显著影响；P<0.01，模型或考察因素有极显著影响<sup>[15]</sup>。从表 3 中可以看出，四

个响应值的模型都是极显著( $P < 0.0001$ ), 失拟项都不显著( $P > 0.05$ ), 说明模型拟合度良好; 而且决定系数  $R^2$  除内聚性外均在 0.85 以上, 说明因变量与考察的自变量之间线性关系显著, 方程能够较好的反应硬度、粘性、内聚性、胶黏性与压缩程度和压缩测试速率的关系。信噪比均较大说明模型可信度较高。综上所述可以用这些方程来较好的分析预测四个响应值随自变量的变化规律。

表 3 响应值模型数学方差分析

Table 3 Analysis of variance for each term of developed quadratic regression model

响应值名称	方差来源	F 值	Pro>F	决定系数 $R^2$	变异系数 CV/%	信噪比
硬度	模型	102.42	<0.0001			
	A	78.87	<0.0001			
	B	336.57	<0.0001			
	AB	15.02	0.0061	0.9865	1.16	29.219
	A <sub>2</sub>	30.16	0.0009			
粘性	B <sub>2</sub>	61.32	0.0001			
	失拟项	6.31	0.0537			
	模型	68.13	<0.0001			
	A	46.39	0.0001			
	B	201.05	<0.0001			
内聚性	AB	2.37	0.1334	0.9799	17.00	24.649
	A <sub>2</sub>	2.55	0.1935			
	B <sub>2</sub>	90.70	<0.0001			
	失拟项	6.20	0.0552			
	模型	0.020	0.0001			
胶黏性	A	0.020	<0.0001	0.8400	6.62	15.059
	B	$7.303 \times 10^{-5}$	0.6741			
	失拟项	$3.213 \times 10^{-3}$	0.1432			
胶黏性	模型	1.29	<0.0001			
	A	1.18	<0.0001	0.8781	6.86	16.885
	B	0.11	0.0316			
失拟项	0.16	0.0726				

### 2.3 响应面分析

根据回归方程作出响应面, 观察图像分析测试条件对酸奶测试结果的影响。

由图 1 可以看出在研究范围内, 硬度随压缩程度和压缩测试速率的增加而增加, 且在低压缩程度和低测试速率时, 硬度随二者的增加而明显增加, 在这两个测试条件处于高水平时, 硬度增加减缓。同时可以看出, 硬度随测试速率的变化幅度较大, 因此在研究范围内如果以硬度为主要响应值, 为减少实验误差可

选取测试条件的高水平。方差分析表 3 中表明压缩测试速率和压缩程度  $P < 0.0001$ , 表明二者对硬度的影响极显著。图 1 中等高线趋于椭圆, 说明二者的交互作用对硬度有显著影响。表 3 中 AB 项  $P = 0.0061$  说明交互作用对硬度的影响极显著。

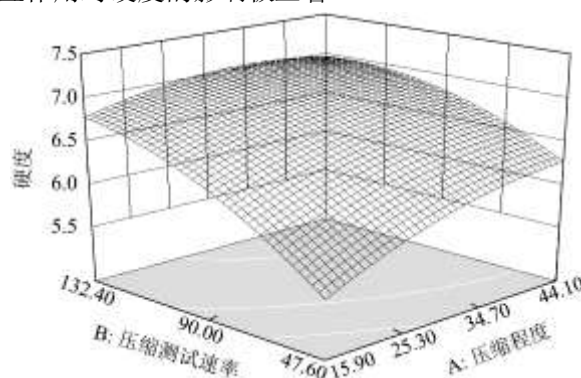


图 1 压缩程度和压缩测试速率对硬度的影响

Fig.1 Surface plots of hardness affected by degree of deformation and compression speed

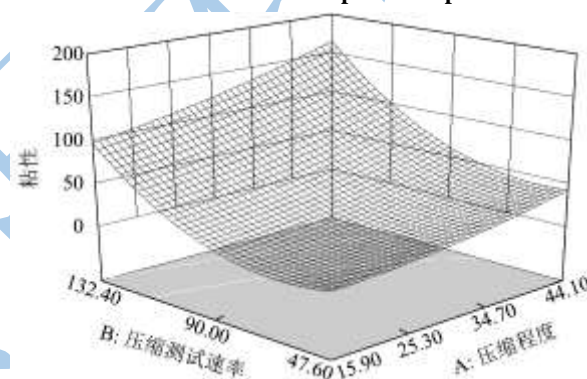


图 2 压缩程度和压缩测试速率对粘性的影响

Fig.2 Surface plots of adhesiveness affected by degree of deformation and compression speed

图 2 中曲面阐释了, 在研究范围内, 粘性随压缩程度增加缓慢增加, 而粘性对压缩测试速率变化明显较大。且在低测试速率范围区, 粘性随压缩测试速率的增长缓慢增加, 在较高测试速率范围, 粘性随测试速率的增加呈二次方趋势。这种情况首先是粘性受测试速率一次项 B 的影响( $P < 0.0001$ ), 再次是粘性受测试速率的二次项 B<sup>2</sup> 的影响( $P < 0.0001$ )。这种走势从方程(2)也可看出, 粘性模型是一个二次函数式, 使粘性随测试参数的变化轨迹较为复杂。

由图 3 看出, 在研究范围内, 内聚性随压缩程度的增加呈上升趋势。在测试范围内, 内聚性随压缩测试速率改变而无明显变化。从方程(3)内聚性与测试参数的函数模型及表 3 的方差分析中可以看出压缩程度 A 对内聚性的影响极显著( $P < 0.0001$ )。压缩测试速率对内聚性影响不显著( $P = 0.6741$ )。

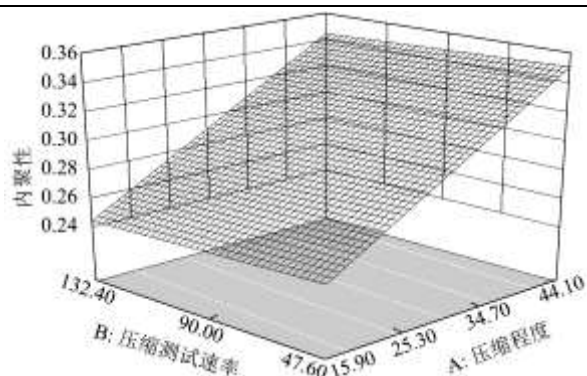


图3 压缩程度和压缩测试速率对内聚性的影响

Fig.3 Surface plots of cohesiveness affected by degree of deformation and compression speed

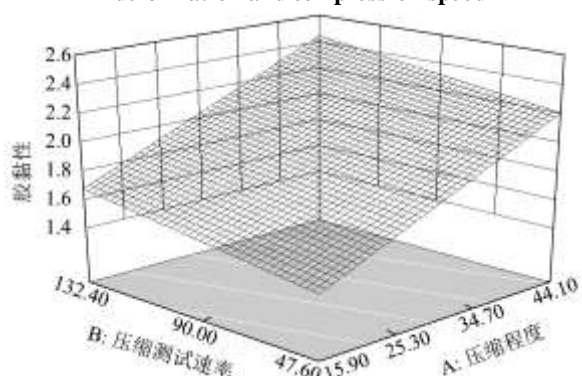


图4 压缩程度和压缩测试速率对胶黏性的影响

Fig.4 Surface plots of gumminess affected by degree of deformation and compression speed

从图4可知胶黏性与压缩程度和压缩测试速率呈线性相关关系。在研究范围中,胶黏性随压缩程度和压缩测试速率的增长呈上升趋势。随压缩程度增加的趋势较明显。从方程(4)中看出,胶黏性为两个自变量的一次函数。方差分析表3中压缩程度A对于胶黏性影响极显著( $P < 0.0001$ ),压缩测试速率B对胶黏性影响显著( $P = 0.0316 < 0.05$ )。

### 3 结论

本实验对凝固型酸奶进行TPA测试,研究了压缩程度和压缩测试速率对硬度、粘性、内聚性、胶黏性的影响。结果表明压缩程度对硬度、粘性、内聚性、胶黏性影响极显著。压缩测试速率对硬度、粘性有极显著影响,对胶黏性影响显著,对内聚性无显著影响。压缩程度和压缩测试速率的交互作用仅对硬度有极显著影响,对其余三个质构特性参数显著影响不显著。综上所述,压缩程度对各项质构结果影响较大,而压缩测试速率对其影响较小。因此,在选择合适的测试条件时,可以更多地考虑压缩程度的影响。

### 参考文献

- [1] Meullenet J F, Lyon B, Carpenter J A, et al. Relationship between Sensory and Instrumental Texture Profile Attributes [J]. *Journal of Sensory Studies*, 1998, 13(1):77-93
- [2] Friedman H H, Whitney J E, Szczesniak A S. The Texturometer-a New Instrument for Objective Texture Measurement [J]. *Journal of Food Science*, 1963, 28(4): 390-396
- [3] 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*,2004,25(12):68-71
- [4] María D A, Canet W, López M E. Influence of Deformation Rate and Degree of Compression on Textural Parameters of Potato and Apple Tissues in Texture Profile Analysis [J]. *Europe Food Research Technology*, 2002,215: 13-20
- [5] 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*,2004,12(3):1-4
- [6] 冯文燕,尹长林,黄珊珊,等.非成熟 Mozzarella 干酪的品质研究[J].*现代食品科技*,2011,27(2):158-161
- [7] 陈玮,常忠义,高红亮,等.不同发酵剂生产的酸奶感官评定和TPA质构分析[J].*中国酿造*,2012,31(1):193-195
- [8] Zoon P. The Relation between Instrumental and Sensory Evaluation of the Rheological and Fracture Properties of Cheese [J]. *Bulletin of the International Dairy Federation* 1991, 268:30-35
- [9] Boyd J V, Sherman P. A Study of Force-Compression Conditions Associated with Hardness Evaluation in Several Foods [J]. *Journal of Texture Studies* 1975, 6(4): 507-522
- [10] Shama F, Sherman P. Evaluation of Some Textural Properties of Foods with Instron Universal Testing Machine [J]. *Journal of Texture Studies* 1973, 4(3): 344-353
- [11] Bourne M C, Comstock S H. Effect of Degree of Compression on Texture Profile Parameters [J]. *Journal of Texture Studies*, 1981, 12(2): 201-216
- [12] Emmanuel M, Ronan S, Emira M. Textural Properties of Fruit Affected by Experimental Conditions in TPA Tests: an RSM Approach [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46: 1044-1052
- [13] 杨志岩,尹树花,白明,等.油花粉中总黄酮提取的响应面优化[J].*现代食品科技*,2008,24(3):253-256
- [14] 孙兰萍,张斌,马龙,等.响应面法优化花生壳黄酮提取工艺的研究[J].*中国粮油学报*,2009,24(1):107-111
- [15] 徐春泽,王泽南,占子奇,等.响应面法对产甘露醇发酵乳杆菌发酵条件的优化[J].*现代食品科技*,2012,28(2):168-171

现代食品科技