

# 湿豆渣面包仪器质构与感官质构相关性分析

赵清霞<sup>1</sup>,郑环宇<sup>1,2,\*</sup>,丁阳月<sup>1</sup>,赵丹丹<sup>1</sup>,于殿宇<sup>1</sup>,韩建春<sup>1,2</sup>,朱秀清<sup>1,2</sup>

(1.东北农业大学食品学院,黑龙江哈尔滨 150030;

2.黑龙江省大豆技术开发研究中心,黑龙江哈尔滨 150028)

**摘要:**将湿豆渣替代小麦粉制作高膳食纤维湿豆渣面包,为了建立一种客观、准确的湿豆渣面包的品质评价方法,建立感官评价和物性仪分析两种方法测定结果的相关性。以湿豆渣、糖、酵母和黄油为单因素,采用四因素五水平的实验设计为研究对象,获得20种面包的TPA分析结果,除黏附性外其他性能都和感官评价都具有显著性差异( $p < 0.05$ )。对面包TPA测定数据进行因子和主成分分析,得到主成分,累计方差贡献率为82.90%。对感官评定和仪器分析结果进行相关性分析表明,TPA测定结果与感官评定结果之间存在显著( $p < 0.05$ )或极显著( $p < 0.01$ )的相关性( $r = -0.326 \sim 0.986$ )。以TPA分析指标为自变量,感官评定指标为因变量进行逐步回归分析,得到具有统计意义的感官评价的硬度、内聚性、回复性的预测模型。本文为物性仪在焙烤食品品质评价上的应用提供了理论依据。

**关键词:**面包,湿豆渣,质构,TPA,感官评定,相关性

## Analysis of the correlation between the sensory evaluation and texture instruments of fresh okara-wheat bread

ZHAO Qing-xia<sup>1</sup>, ZHENG Huan-yu<sup>1,2,\*</sup>, DING Yang-yue<sup>1</sup>, ZHAO Dan-dan<sup>1</sup>, YU Dian-yu<sup>1</sup>, HAN Jian-chun<sup>1,2</sup>, ZHU Xiu-qing<sup>1,2</sup>

(1.College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2.Soybean Technology Development Research Center of Heilongjiang Province, Harbin 150028, China)

**Abstract:** The fresh okara was used to replace a part of wheat flour to produce high dietary fiber fresh bread. In order to establish an objective and accurate way of evaluating the quality of fresh okara-wheat bread, both sensory evaluation and physical instrumental analysis were applied to evaluate the correlation of the results. The experiment designed with five levels and four factors, fresh okara, sugar, yeast and butter, was investigated. The result indicate that the TPA analysis and sensory evaluation of 20 kinds of bread were significant differences ( $p < 0.05$ ) except the adhesiveness. While analyzing of the factor and principal component of the TPA data of the bread, the main components were identified. The cumulative variance contribution rate was 82.90%. By analyzing the correlation of the sensory evaluation and instrumental analysis, there were significant ( $p < 0.05$ ) or highly significant ( $p < 0.01$ ) correlation ( $r = -0.326 \sim 0.986$ ) between the results of TPA and the sensory evaluation. Stepwise regression analysis was used to achieve, prediction equations with the parameters of TPA as independent variables, and the data of principal sensory attributes as dependent variable. The prediction equations of sensory hardness, cohesiveness, resilience were of significance in statistics. This research provided theoretical basis for the application of physical instruments on the quality evaluation of baked goods.

**Key words:** bread; fresh okara; texture; TPA; sensory evaluation; correlation

中图分类号: TS210.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)06-0094-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.06.010

豆渣是一种主要的大豆加工副产物,含有大豆蛋白、矿物质和膳食纤维等多种营养成分<sup>[1-3]</sup>,尤其膳

食纤维含量较高,是一种优良的膳食纤维资源。但在我国豆渣一直没有得到充分开发利用,除少部分用

收稿日期: 2015-07-17

作者简介: 赵清霞(1990-),女,硕士研究生,研究方向:食品工程, E-mail: 1059782646@qq.com。

\* 通讯作者: 郑环宇(1975-),女,博士,副研究员,研究方向:大豆深加工技术研究, E-mail: zhenghuanyu1@163.com。

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(863计划项目)(2013AA102208); 国家科技支撑计划课题(2014BAD22B01); 黑龙江省科研机构创新能力提升专项计划项目(YC2014D003)。

作饲料外,大部分被废弃掉,造成了环境污染和资源浪费<sup>[4]</sup>,利用豆渣制作高膳食纤维面包,不但满足了人们对高膳食纤维食品的需求,而且变废为宝,实现了豆渣的再利用。将豆渣干燥粉碎后制成豆渣粉,用其替代部分面粉制备面包、蛋糕等食品已有研究<sup>[5-9]</sup>,但该工艺能耗大,生产成本低。而采用未干燥的豆渣,即湿豆渣,直接应用到面包制作中,不仅降低了生产成本,而且湿豆渣能够锁住更多的水分,降低了产品在烘焙过程中水分的流失<sup>[7-8]</sup>,增加产品的柔软性,防止变硬,提高了面包的品质。现代烘焙产品质量评价体系中,质构<sup>[9]</sup>是衡量产品品质的一个最重要的指标,测试方法包括感官评定法和仪器分析法<sup>[10]</sup>。感官评定法是主要评价工具,但是感官评定方法主观性强,操作过程繁琐,准确性差,重复性差;仪器分析法,能够根据样品的物性特点作出数据曲线,是精确的量化测量方法<sup>[11]</sup>。目前已有关于豆渣面包的营养价值及贮藏保鲜技术的研究报道<sup>[12-14]</sup>,而针对湿豆渣面包质构特性的相关性报道较少<sup>[15-16]</sup>。本文选用20种面包的4因素5水平的样品为研究对象,分别采用感官评价法和物性仪TPA模式评定湿豆渣面包的质构特性,研究这两种方法的相关性,并对TPA指标进行主成分分析,建立湿豆渣面包的质构评定模型,为湿豆渣面包品质控制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

新鲜湿豆渣 含水量:87.10%,粗脂肪:9.70%,粗蛋白:19.60%,总膳食纤维:59.29%;活性酵母 安琪酵母股份有限公司;高筋面粉、黄油、白糖、食盐、鸡蛋 均为市售优级品。

TA-XT2i多功能质构仪 美国Stable Micro System公司;面包机AB-SN6513N 北美电器有限公司;电烤箱KWS1523LQ-F2EM 广州格兰生活电器制造有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 面团及湿豆渣面包的制备 将面包粉120 g,盐1 g,蛋清液12 g,一定量的湿豆渣、白糖、酵母、黄

油,固定湿豆渣30 g,白糖20 g,酵母2 g,黄油12 g,加50%的30℃温水(蛋清的含量按水分含量计)加入到搅拌机中,中速搅拌至面团光滑即可;将制备好的面团置于26℃,相对湿度为80%,醒发30 min,将面团分割成单位质量的小面团,随后将小面团搓成比较光滑的长方体,便于保留新的气体,使面团膨胀、松软;继续醒发温度36℃,60 min,湿度85%,以面团体积膨胀2~3倍为宜,将烤箱底火和面火预热至180℃时放入烤盘,恒温烘烤15~20 min,至面包表皮形成金黄色即可。烘烤过程中,面包表面可以刷一层油或蛋液,增加烘烤效果;烤好后,采用室温自然冷却,将面包冷却至35℃以下,进行包装。

1.2.2 湿豆渣面包的质构特性分析 将面包切成长宽高3 cm×3 cm×1.5 cm长方体,采用物性测定仪进行TPA模式测定。选用P50探头,测定条件为:测前速率2.0 mm/s;测试速率1 mm/s;测后速率1 mm/s;应变位移5 mm,触发点为5 g,两次压缩停留5 s,分别测出3个面包芯的硬度、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性,结果取平均值。

1.2.3 湿豆渣面包的感官评定 由8名评审员组成感官评定小组,首先明确本实验的目的、意义以及感官评定的指标和注意事项,对湿豆渣面包进行密码编号,检验样品也随机化。评定分数采用对湿豆渣面包的硬度(1~15分)、黏附性(1~15分)、弹性(1~20分)、内聚性(1~15分)、咀嚼性(1~15分)和回复性(1~20分)进行评定,结果取平均值。

### 1.3 数据分析

采用Excel和SPSS 20.0统计软件对实验数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 湿豆渣面包质构的仪器分析与感官评定结果

面包的TPA测定结果见表2。结果表明:20种面包之间的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性的质构特性存在差异显著性( $p < 0.05$ ),黏附性无显著性差异。豆渣不同添加量制得的面包弹性,糖不同添加量制得的面包弹性,酵母不同添加量制得的面包硬

表1 湿豆渣面包质构感官评价定义及评定标准

Table 1 Definition and criterion of sensory texture evaluation for fresh wheat-okara bread-baking

指标	评价定义	分数
硬度(15分)	将面包切片放在白齿间(口腔后方两侧的牙齿)并均匀咀嚼,评价压迫面包切片所需的力量	0<鸡蛋白≤5;鸡蛋白-绿橄榄=5~15;绿橄榄=15
黏附性(15分)	将面包切片放在口腔中并在舌头与上颚间摆弄,评价分散面包切片所需要力量	0<鸡蛋白≤10;鸡蛋白-三明治面包=10~15;三明治面包=15
弹性(20分)	将面包切片放在白齿间并进行局部压迫,取消压迫并评价面包切片恢复变形的速度和程度	0<奶酪≤10;10<法兰克福香肠<20;法兰克福香肠=20
内聚性(15分)	将面包切片放在白齿间压迫它,评价在面包切片断裂前的变形量	0<奶酪≤10;奶酪-三明治面包=10~15;三明治面包=15
咀嚼性(15分)	将面包切片放在口腔中每秒钟咀嚼一次,所用力量与用0.5 s内咬穿一块口香糖所需力量相同,评价当可将面包切片吞咽所咀嚼能量	0<黑麦面包≤10;黑麦面包-法兰克福香肠=10~15;法兰克福香肠=15
回复性(20分)	将面包切片放在白齿间并均匀地咬直至将样品咬碎,评价粉碎面包切片后并使之离开牙齿所需力量	0<玉米饼≤10;玉米饼-烤面包片=10~20;烤面包片=20

注:鸡蛋白:大火烹煮5 min;绿橄榄:大个,去核;三明治面包:片状;法兰克福香肠:去皮,大块,未煮过;奶酪黄色,未处理;黑麦面包:面包芯片;玉米饼:老式;烤面包片:面包芯片。

度、弹性和咀嚼性,黄油不同添加量制得的面包硬度、弹性和内聚性均无显著性差异,其他质构指标基本差异显著。由表2可知,不同单因素之间,不同湿豆渣和糖添加量的面包的大部分TPA指标呈差异显著

性( $p < 0.05$ ),但不同酵母与黄油添加量的面包的质构指标之间显著性不明显,这与添加不同成分差异显著性一致,表明面包质构差异与添加的成分有关<sup>[17-18]</sup>。

20种湿豆渣面包感官评定结果见表3,结果显示

表2 湿豆渣面包物性仪分析(TPA)测定结果

Table 2 Determination results of texture analyzer (TPA mode) of wet dregs bread

	硬度(g)	黏附性(g·sec)	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性	编号
湿豆渣(0%)	3807.07 <sup>c</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.70 <sup>abc</sup>	0.55 <sup>abc</sup>	1454.68 <sup>c</sup>	0.22 <sup>ahi</sup>	1.10
湿豆渣(10%)	2355.91 <sup>de</sup>	0.08 <sup>a</sup>	0.56 <sup>bcd</sup>	0.44 <sup>def</sup>	1177.46 <sup>cd</sup>	0.17 <sup>i</sup>	1.20
湿豆渣(15%)	1403.64 <sup>efgh</sup>	-1.09 <sup>a</sup>	0.82 <sup>abcd</sup>	0.67 <sup>abcdef</sup>	760.51 <sup>ghi</sup>	0.27 <sup>efg</sup>	1.30
湿豆渣(20%)	5453.04 <sup>b</sup>	-0.42 <sup>a</sup>	0.70 <sup>abcd</sup>	0.55 <sup>abcd</sup>	2096.82 <sup>b</sup>	0.24 <sup>efh</sup>	1.40
湿豆渣(25%)	7814.01 <sup>a</sup>	-0.10 <sup>a</sup>	1.06 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>abcd</sup>	3059.26 <sup>a</sup>	0.37 <sup>bc</sup>	1.50
糖(6%)	2712.21 <sup>d</sup>	-0.56 <sup>a</sup>	0.73 <sup>abcd</sup>	0.58 <sup>bcdef</sup>	1137.11 <sup>de</sup>	0.23 <sup>ahi</sup>	2.10
糖(8%)	1824.73 <sup>cd</sup>	-1.41 <sup>a</sup>	1.07 <sup>abcd</sup>	0.87 <sup>abcde</sup>	988.67 <sup>def</sup>	0.35 <sup>bcd</sup>	2.20
糖(10%)	1403.64 <sup>efgh</sup>	-1.09 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	0.67 <sup>ab</sup>	760.51 <sup>ghi</sup>	0.27 <sup>efg</sup>	2.30
糖(12%)	694.23 <sup>gh</sup>	-0.43 <sup>a</sup>	0.79 <sup>abcd</sup>	0.65 <sup>cdef</sup>	349.94 <sup>k</sup>	0.26 <sup>efgh</sup>	2.40
糖(14%)	465.14 <sup>h</sup>	-0.29 <sup>a</sup>	0.53 <sup>abc</sup>	0.43 <sup>a</sup>	234.46 <sup>k</sup>	0.17 <sup>i</sup>	2.50
酵母(0.6%)	1668.74 <sup>efg</sup>	-0.38 <sup>a</sup>	0.75 <sup>abcd</sup>	0.58 <sup>a</sup>	719.56 <sup>gh</sup>	0.23 <sup>ahi</sup>	3.10
酵母(0.8%)	1676.09 <sup>efg</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.93 <sup>cd</sup>	0.73 <sup>def</sup>	791.94 <sup>ghi</sup>	0.30 <sup>def</sup>	3.20
酵母(1.0%)	1501.29 <sup>efg</sup>	-0.04 <sup>a</sup>	0.75 <sup>abcd</sup>	0.60 <sup>abcd</sup>	676.58 <sup>ghi</sup>	0.24 <sup>efh</sup>	3.30
酵母(1.2%)	1378.19 <sup>fgh</sup>	-0.18 <sup>a</sup>	0.60 <sup>cd</sup>	0.51 <sup>bdef</sup>	661.33 <sup>hi</sup>	0.21 <sup>hi</sup>	3.40
酵母(1.4%)	1354.07 <sup>fgh</sup>	-0.17 <sup>a</sup>	0.59 <sup>d</sup>	0.51 <sup>f</sup>	649.75 <sup>hi</sup>	0.20 <sup>hi</sup>	3.50
黄油(2%)	989.71 <sup>fgh</sup>	-0.03 <sup>a</sup>	0.85 <sup>abcd</sup>	0.70 <sup>abcdef</sup>	589.58 <sup>hij</sup>	0.32 <sup>efg</sup>	4.10
黄油(4%)	791.77 <sup>gh</sup>	-0.02 <sup>a</sup>	0.68 <sup>cd</sup>	0.56 <sup>ef</sup>	471.66 <sup>ijk</sup>	0.26 <sup>efgh</sup>	4.20
黄油(6%)	1286.63 <sup>fgh</sup>	-0.04 <sup>a</sup>	1.11 <sup>bcd</sup>	0.91 <sup>abcdef</sup>	766.45 <sup>ghi</sup>	0.42 <sup>ab</sup>	4.30
黄油(8%)	1389.56 <sup>efgh</sup>	-0.04 <sup>a</sup>	1.20 <sup>cd</sup>	0.98 <sup>ef</sup>	827.77 <sup>efg</sup>	0.45 <sup>a</sup>	4.40
黄油(10%)	1587.61 <sup>efgh</sup>	-0.07 <sup>a</sup>	1.04 <sup>abcd</sup>	0.88 <sup>abcde</sup>	878.36 <sup>ghi</sup>	0.39 <sup>efg</sup>	4.50

注:同列数值上标不同字母者表示差异显著( $p < 0.05$ );表3同。

表3 湿豆渣面包感官评定结果

Table 3 Results of texture measurement of wet dregs bread by sensory evaluation

	G硬度(g)	G黏附性(g·sec)	G弹性	G内聚性	G咀嚼性	G回复性
湿豆渣(0%)	12.5 <sup>efg</sup>	12.5 <sup>bc</sup>	12.3 <sup>gh</sup>	11.1 <sup>ef</sup>	13.3 <sup>bc</sup>	12.7 <sup>g</sup>
湿豆渣(10%)	13.3 <sup>cd</sup>	12.9 <sup>b</sup>	11.6 <sup>i</sup>	10.4 <sup>h</sup>	13.8 <sup>b</sup>	10.5 <sup>k</sup>
湿豆渣(15%)	14.2 <sup>ab</sup>	14.7 <sup>a</sup>	14.1 <sup>e</sup>	14.5 <sup>a</sup>	14.7 <sup>a</sup>	15.9 <sup>d</sup>
湿豆渣(20%)	14.7 <sup>a</sup>	14.4 <sup>a</sup>	11.8 <sup>hi</sup>	11.7 <sup>e</sup>	14.8 <sup>a</sup>	14.6 <sup>c</sup>
湿豆渣(25%)	13.6 <sup>bc</sup>	11.9 <sup>cd</sup>	18.2 <sup>b</sup>	10.5 <sup>g</sup>	12.7 <sup>de</sup>	17.3 <sup>c</sup>
糖(6%)	10.1 <sup>i</sup>	8.5 <sup>f</sup>	12.6 <sup>fg</sup>	13.4 <sup>c</sup>	9.0 <sup>h</sup>	10.1 <sup>k</sup>
糖(8%)	11.8 <sup>gh</sup>	10.8 <sup>e</sup>	18.4 <sup>b</sup>	13.5 <sup>c</sup>	11.5 <sup>f</sup>	16.4 <sup>d</sup>
糖(10%)	12.7 <sup>def</sup>	14.3 <sup>a</sup>	14.1 <sup>e</sup>	14.4 <sup>ab</sup>	14.3 <sup>a</sup>	11.9 <sup>hi</sup>
糖(12%)	13.2 <sup>cde</sup>	14.5 <sup>a</sup>	13.6 <sup>f</sup>	14.7 <sup>a</sup>	14.4 <sup>a</sup>	11.4 <sup>j</sup>
糖(14%)	12.3 <sup>fg</sup>	12.2 <sup>bc</sup>	10.1 <sup>j</sup>	8.4 <sup>i</sup>	13 <sup>cd</sup>	9.5 <sup>k</sup>
酵母(0.6%)	10.7 <sup>i</sup>	10.0 <sup>e</sup>	12.9 <sup>fg</sup>	9.8 <sup>h</sup>	10.6 <sup>g</sup>	10.1 <sup>k</sup>
酵母(0.8%)	12.8 <sup>def</sup>	11.5 <sup>d</sup>	16.0 <sup>d</sup>	10.9 <sup>fg</sup>	12.2 <sup>e</sup>	13.2 <sup>f</sup>
酵母(1.0%)	13.6 <sup>cd</sup>	14.5 <sup>a</sup>	12.9 <sup>fg</sup>	11.5 <sup>e</sup>	14.4 <sup>a</sup>	10.6 <sup>k</sup>
酵母(1.2%)	13.4 <sup>bc</sup>	14.7 <sup>a</sup>	10.3 <sup>j</sup>	13.9 <sup>bc</sup>	14.7 <sup>a</sup>	12.2 <sup>gh</sup>
酵母(1.4%)	12.5 <sup>efg</sup>	11.5 <sup>d</sup>	10.1 <sup>j</sup>	12.5 <sup>d</sup>	12.2 <sup>e</sup>	11.8 <sup>hij</sup>
黄油(2%)	11.6 <sup>h</sup>	7.6 <sup>g</sup>	14.6 <sup>e</sup>	13.3 <sup>cd</sup>	8.1 <sup>i</sup>	14.1 <sup>e</sup>
黄油(4%)	13.1 <sup>cde</sup>	8.5 <sup>f</sup>	12.7 <sup>fg</sup>	13.5 <sup>c</sup>	9.0 <sup>h</sup>	11.4 <sup>ij</sup>
黄油(6%)	13.6 <sup>bc</sup>	14.3 <sup>a</sup>	19.1 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	18.5 <sup>b</sup>
黄油(8%)	14.3 <sup>a</sup>	12.6 <sup>b</sup>	19.6 <sup>a</sup>	14.7 <sup>a</sup>	13.4 <sup>bc</sup>	19.8 <sup>a</sup>
黄油(10%)	13.2 <sup>cd</sup>	10.6 <sup>e</sup>	16.9 <sup>c</sup>	14.5 <sup>a</sup>	11.3 <sup>f</sup>	17.2 <sup>c</sup>

注:G硬度、G黏附性、G弹性、G内聚性、G咀嚼性、G回复性表示感官评价的硬度、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性。

各个样品的感官评定指标具有差异显著性 ( $p < 0.05$ )。对同一单因素不同添加量来分析,大部分TPA指标存在一定的差异显著性。即同一因素不同水平影响感官指标,这与仪器测定分析结果基本一致。

## 2.2 TPA指标的主成分分析

为讨论各因素对TPA质构特性的贡献程度,采用主成分分析和因子分析法确定影响面包质构的主要因素,为评价面包品质提供依据。面包质构测定的TPA指标的主成分分析所得相关矩阵的特征值及方差贡献率结果见表4,表中列出了所有主成分,且按照特征值从小到大的次序排列,第1和第2主成分的方差贡献率达到82.90%,其中第一主成分的贡献率达到50.99%;第一主成分特征值为3.059,第二主成分特征值为1.915,根据提取因子的条件,特征值大于1,即选出两个因子。由此,提取前2个主要成分就基本能够代替6个TPA指标对面包质构特性的评价,作为反映面包质构主要的信息。

表4 面包TPA分析的各成分特征根与方差贡献率

Table 4 Total variance explained for TPA analysis of different components of the twenty kinds of wet dregs bread

成分	特征值	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
1	3.059	50.99	50.99
2	1.915	30.91	82.90
3	0.994	16.56	97.46
4	0.025	0.417	99.88
5	0.005	0.082	99.96
6	0.003	0.043	100.00

主成分负荷反映了两个主成分分别在TPA指标上对主成分的贡献率的大小,其前2个主成分负荷见表5,两个主成分的负荷图见图1。负载图表明在某个坐标轴附近的变量只在该主成分上有较高的负荷,而在其他主成分上只有较低的负荷。距离原点越远,其变量被两个主成分介绍程度越高,指标空间上距离越近,则变量间正相关程度越高。从表5和图1可知,第一主成分 $F_1$ 与硬度(Hardness,  $X_1$ )、弹性(Springiness,  $X_3$ )、内聚性(Cohesiveness,  $X_4$ )、咀嚼性(Chewiness,  $X_5$ )、回复性(Resilience,  $X_6$ )呈正相关,且主要反映了弹性、内聚性、回复性;而第二主成分 $F_2$ 反映了硬度、咀嚼性。

为了更直观的反映不同面包的质构特性,采用正交旋转法<sup>[9]</sup>对TPA数据的主成分因子进行旋转,表6为第1和第2主成分的得分矩阵,可以得到式(1)和

表5 主成分负荷矩阵

Table 5 The component matrix

成分	$F_1$	$F_2$
$X_1$	0.305	0.949
$X_2$	-0.031	0.167
$X_3$	0.977	-0.188
$X_4$	0.966	-0.252
$X_5$	0.388	0.916
$X_6$	0.962	-0.221

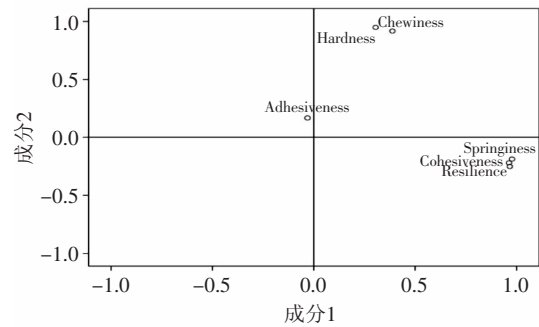


图1 主成分负荷图

Fig.1 Biplot of principal component analysis

式(2),此为第一主成分和第2主成分与面包TPA质构各指标之间的关系表达式:

$$F_1 = 0.100X_1 - 0.01X_2 + 0.319X_3 + 0.316X_4 + 0.127X_5 + 0.315X_6 \quad (1)$$

$$F_2 = 0.495X_1 + 0.087X_2 - 0.098X_3 - 0.131X_4 + 0.497X_5 - 0.115X_6 \quad (2)$$

表6 主成分特征向量

Table 6 Eigenvectors for principal components

成分	$F_1$	$F_2$
$X_1$	0.100	0.495
$X_2$	-0.010	0.087
$X_3$	0.319	-0.098
$X_4$	0.316	-0.131
$X_5$	0.127	0.479
$X_6$	0.315	-0.115

以第一主因子特征向量为横坐标,第二主因子特征向量为纵坐标,根据20种面包在第一和第二主成分向量分布,可以作出散点图,从而直观地反映各样品在第一主成分和第二主成分上的相关情况,见图2所示。

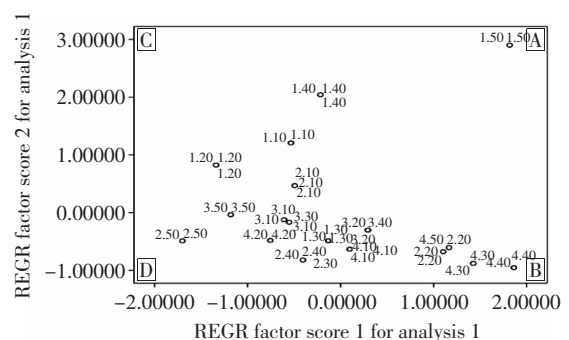


图2 20种面包的负荷图

Fig.2 Biplot of principal component analysis of the twenty kinds of wet dregs bread

注:图中各个数据点代表湿豆渣、糖、酵母、黄油不同添加量的代码,具体见表2。

从图2可以直观地看出20种面包的对两个主成分上的影响的贡献率情况,区域A表示对第一主成分和第二主成分影响均较大;区域B表示对第一主成分影响较大,对第二主成分影响较小;区域C表示对第

一主成分影响较小,对第二主成分影响较大;区域D表示对第一主成分和第二主成分影响较小。从图2中可以看出,20%的豆渣添加量的面包对第一主成分影响较大;6%、8%的黄油添加量的面包对第二主成分影响较大;25%的豆渣添加量对面包的的第一主成分和第二主成分均影响较大;其他单因素对第一主成分和第二主成分无显著性影响。说明20种面包的豆渣和黄油含量对TPA测试结果有主要的影响。

### 2.3 TPA测定指标与感官评定的相关性分析

TPA测定与感官评定结果的相关系数见表7,TPA测定的指标与感官评定指标之间存在着显著( $p<0.05$ )或者极显著( $p<0.01$ )的相关性<sup>[20-22]</sup>。其中TPA测试指标的弹性与感官评定的弹性( $r=0.986, p<0.01$ )、内聚性( $r=0.451, p<0.01$ )、回复性( $r=0.865, p<0.01$ )之间有极显著的正相关性,TPA测试中的弹性是使面包的恢复形状的能力,这与面包感官评定的柔软性和组织特性密切相关,感官评定中弹性是面包在口腔中经过第一次咀嚼以后能够再恢复的程度,经过咀嚼后,面包的结构被破坏,恢复程度降低,所需能量就越低;内聚性高表示面包不易形成碎渣,咀嚼时能够较好地保持完整的状态,随着内聚性的进一步降低,咀嚼是所需能量降低;回复性会在一定程度上影响面包的品质,回复性较高的面包,所需能量就越少。

TPA测试指标的内聚性、回复性也与感官评定的弹性、内聚性、回复性呈极显著( $p<0.01$ )的正相关性。TPA测试指标中的内聚性表示测试面包经过第一次压缩变形后所表现出来的对第二次压缩的相对抵抗能力,反映的是面包抵抗受损并保持完整的性质,它反映了面包内部结合力的大小,咀嚼面包所用能量越低,内聚性越小;回复性表示面包在第一次压缩过程中回弹的能力,反映了面包受压后迅速恢复变形的能力,经过第一次压缩后,面包的组织状态发生改变,所需能量越低。

TPA测试中的硬度、黏附性、咀嚼性与感官评定中的内聚性呈显著( $p<0.05$ )的负相关,与回复性呈显著( $p<0.05$ )或极显著( $p<0.01$ )相关,硬度是探头第一次压缩面包达到变性所需的力,面包越硬,所消耗的能力就越大,黏附性测定的是面包克服黏着作用所消耗的功,反映了咀嚼时面包对上腭、牙齿、舌头等接触面黏附作用;咀嚼性用于描述将固体食品咀嚼到可吞咽时所需的能量,它综合反映了面包对咀嚼的持续抵抗性。感官评定发现面包内聚性表示不易形成碎渣,咀嚼时能够较好地保持完整的状态,随着内聚性的进一步降低,咀嚼时所需能量降低;回复性会在一定程度上影响面包的品质,回复性较高的产品口感较好。感官评定的咀嚼性与TPA测试指标无显著

相关性,感官评定时面包咀嚼性的变化不明显,这意味着咀嚼性的变化对面包的品质没有太大的影响。

总之,TPA分析和感官评定之间存在一定的相关性,且弹性、内聚性和回复性在湿豆渣面包质构分析中占有重要的地位,可作为湿豆渣面包质构特性评价的重要综合性指标。因此,综合TPA测定结果和感官测定结果的相关性分析,对湿豆渣面包质构特性起到决定性作用的指标是弹性、内聚性和回复性。

表7 TPA分析和感官指标之间的皮尔逊相关系数

Table 7 Person correlation coefficients among the results of TPA analysis and sensory evaluation

	硬度	黏附性	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
G硬度	0.202	0.172	0.196	0.212	0.233	0.267*
G黏附性	0.071	-0.145	-0.040	-0.036	0.065	-0.074
G弹性	0.151	-0.093	0.986**	0.973**	0.244	0.955**
G内聚性	-0.326*	-0.299*	0.451**	0.522**	-0.260*	0.520**
G咀嚼性	0.127	-0.107	-0.036	-0.037	0.124	-0.075
G回复性	0.256*	-0.046	0.865**	0.879**	0.345**	0.901**

注:\*\*在0.01水平(双侧)上显著相关,\*在0.05水平(双侧)上显著相关。

为了进一步对面包质构特性进行评价及预测,以TPA测定指标作为自变量,感官分析指标作为因变量进行逐步回归分析法, $F$ 值显著水平分别为0.05和0.01。对感官分析指标的回归方程和回归预测模型见表8。由表8可知,感官评定的弹性、内聚性和回复性经过筛选后得到最优回归模型,经显著性检验具有显著性( $p<0.05$ ),弹性、内聚性和回复性的方程决定系数 $R^2$ 均大于0.5。因硬度、粘附性和咀嚼性的回归模型不显著而被剔除。因此,由分析预测模型可知,面包感官弹性、内聚性、回复性的变化与TPA中的弹性和内聚性的变化一致。由此综合TPA分析的相关性和TPA指标主成分分析,确定对面包质构特性起决定性作用的指标是弹性、内聚性和回复性。

### 3 结论

本实验通过TPA分析和感官评价两种方法对不同添加量的湿豆渣、糖、酵母和黄油面包的质构特性进行研究,得到以下结论:

3.1 不同因素和不同添加量的面包的感官指标和TPA指标,除TPA的黏附性外,均具有显著性差异( $p<0.05$ ),这结果表明了质构特性与产品本身的成分组成存在密切关系;采用因子分析和主成分分析法对面包的质构特性进行分析,6个指标中提取2个主成分,第1和第2主成分的方差贡献率达到82.90%,其中第一主成分的贡献率达到50.99%,可完全解释面包

表8 感官指标对TPA仪器分析指标的逐步回归分析预测模型

Table 8 Predictive equations for TPA parameters as functions of sensory attributes by stepwise regressions

感官指标	复相关系数 $R$	决定系数 $R^2$	校正决定系数 $R^2_{adj}$	$F$ 值	预测模型
G弹性	0.986	0.973	0.972	0.489	$G_s=1.809+15.093X^3$
G内聚性	0.777	0.596	0.590	1.21	$G_c=0.685+8.583X^4+7.035X^3$
G回复性	0.901	0.811	0.808	1.33	$G_R=0.633+2.187X^6$

的硬度、内聚性、弹性、咀嚼性和胶黏性。建立了2个主成分与面包TPA质构指标之间的表达式。通过散点图的分析,20%和25%的豆渣含量,6%和8%的黄油含量对TPA测试结果影响较显著。

**3.2 感官评定指标与TPA指标具有良好的相关性**,其中TPA指标中弹性、内聚性和回复性与感官评定指标弹性、内聚性和回复性均具有极显著正相关性,相关性系数为0.451~0.986;而硬度和咀嚼性和与感官指标内聚性呈显著的负相关,与回复性呈显著或极显著的正相关;TPA指标中的黏附性与感官评定的内聚性呈显著负相关,回复性与感官评定的硬度呈显著正相关,TPA测定指标与感官评定的咀嚼性无相关性;并由分析模型可知面包感官弹性、内聚性、回复性的变化与TPA测定结果中的弹性和内聚性的变化一致。

### 参考文献

[1] Redondo-Cuenca A, Villanueva-Suarez M J, Mateos Aparicio I. Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst Methods[J]. Food Chemistry, 2007, 108: 1099-1105.

[2] Mateos-Aparicio I, Redondo-Cuenca A, Villanueva-Suarez M J, et al. Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds[J]. LWT-Food Science & Technology, 2010, 43(9): 1467-1470.

[3] Vander Riet W B, Wight A W, Cilliers J J L, et al. Food chemical investigation of tofu and its by product okara[J]. Food Chemistry, 1989(34): 193-202.

[4] 江连洲. 大豆加工利用现状及发展趋势[J]. 食品与机械, 2000(1): 7-10.

[5] 温志英, 刘晓娟, 刘焕云. 菠萝豆渣面包的研制[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(7): 102-105.

[6] 姚晓玲, 宋卫江, 张艳春. 酶制剂在豆渣面包中的应用研究[J]. 粮食与饲料工业, 2006(11): 22-23, 26.

[7] 宋莲军, 李争艳, 耿瑞玲. 豆渣对面团流变学特性及面条质

量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2011(2): 241-246.

[8] 邹建. 添加豆渣膳食纤维对不同小麦粉糊化特性、热力学性质及面团质构的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(2): 39-41.

[9] Angioloni A, Collar C. Bread crumb quality assessment: a plural physical approach[J]. Europe Food Research Technology, 2009, 229: 21-30.

[10] Kayacier A, Singh R K. Textural properties of baked tortilla chips[J]. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie, 2003, 36(5): 463-466.

[11] 张薇, 朱璘. 面制品科学化评价的研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(5): 37-39.

[12] 李波, 芦菲, 王东玲. 豆腐渣在面条中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(6): 83-88, 109.

[13] Masoodi F A, Chauhan G S. Use of apple pomace as a source of dietary fiber in wheat bread[J]. J Food Processing and Preservation, 1998, 22: 255-263.

[14] 周梦雪, 陆宁. 豆渣面包质构及风味评价[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(1): 23-26.

[15] 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.

[16] 赵延伟, 耿欣, 陈海华, 等. 面包及蛋糕的质构与感官评价的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 253-259.

[17] 周雪松, 徐皎, 赵谋明. 卡拉胶对面包品质影响[J]. 粮食与油脂, 2012(3): 47-49.

[18] Lisbeth H, Turid R. Iced storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*)-effects on endogenous enzymes and their impact on muscle proteins and texture[J]. Food Chemistry, 2004, 87(1): 31-41.

[19] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和SPSS软件[J]. 统计研究, 2005(3): 65-68.

[20] 彭义封, 留彦军, 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(2): 119-122.

[21] 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.

[22] 张一. TPA测试在面包品质评价中的应用研究[J]. 吉林工商学院学报, 2010, 26(5): 48-51.

(上接第93页)

[16] 吴静珠, 石瑞杰, 陈岩, 等. 基于PLS-LDA和拉曼光谱快速定性识别食用植物油[J]. 食品工业科技, 2014, 35(6): 55-58.

[17] 刘嘉, 赵秋爽, 李明奇, 等. 近红外光谱快速测定巧克力中掺假淀粉[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2306-2310.

[18] 孙耀国, 林敏, 吕进, 等. 近红外光谱法测定绿茶中氨基酸、咖啡碱和茶多酚的含量[J]. 光谱实验室, 2004, 21(5): 940-943.

[19] Xie Lijuan, Ye Xingqian, Liu Donghong, et al. Quantification of glucose, fructose and sucrose in bayberry juice by NIR and PLS[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 1135-1140.

[20] Frenich AG, Liebanas, F JA, et al. Quantification of glucose, Multicomponent determination of pesticides in vegetables by gas chromatography with mass spectrometric detection and multivariate calibration[J]. Talanta, 2003, 60(4): 765-774.

[21] 刘欢, 韩东海, 王世平. 同步荧光技术检测鲜牛乳中掺杂复原乳的可行性研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2685-2689.

[22] 张国文, 倪永年. 偏最小二乘-同步荧光光谱法同时测定鳗鱼组织中三种喹诺酮药物残留量[J]. 光谱学与光谱分, 2006, 26(1): 113-116.

[23] 汤丽华, 刘敦华. 基于近红外光谱的枸杞化学成分定量分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2306-2310.

[24] 闫李慧, 王金水, 金华丽. 基于近红外光谱技术的面粉水分无损检测模型的建立[J]. 现代食品科技, 2011, 27(2): 235-238.

[25] Savitzky A, Golay MJE. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures[J]. Analytical chemistry, 1964, 36(8): 1627-1639.

[26] Barelay VJ, Bonner RF, Hamilton 1P. Application of wavelet transforms to experimental spectral: smoothing, denoising, and data set compression[J]. Analytical chemistry, 1997, 69(1): 78-90.

[27] Gorr PA. General least-squares smoothing and differentiation by the convolution (Savitzky-Golay) method[J]. Analytical chemistry, 1990, 62(6): 570-573.