

面包的质构特性与隔声系数相关性研究

Study on correlation between texture characteristics and sound insulation coefficient of bread

梁 义 冯 涛 张子涵 汪 婕 王 晶

LIANG Yi FENG Tao ZHANG Zi-han WANG Jie WANG Jing

(北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

(School of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

摘要:选取全麦面包和白面包,根据放置时间的不同分别测得面包的质构特性参数和隔声系数,依据 Pearson 系数最大选取恰当频率的隔声系数,进行最小二乘法线性回归分析。结果表明:全麦面包的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性分别与特定频率的隔声系数呈线性关系,而白面包不具有此类特点。

关键词:声学特性;质构特性;面包;隔声系数;Pearson 系数

Abstract: The texture parameters and sound insulation coefficients of the whole wheat bread and white bread were measured according to the difference of the standing time, and the least squares regression analysis was carried out according to the maximum Pearson coefficient of sound insulation coefficients. The results showed that the hardness, elasticity, adhesion and chewiness of whole wheat bread were linear with the sound insulation coefficient of specific frequency. However, no significant linear relationship was found in the studies on the white bread.

Keywords: bread; texture characteristics; coefficient of sound insulation; Pearson coefficient; least square

面包作为人们喜爱的食品,具有丰富的营养价值,目前世界上已有很多国家以面包为主食,研究其品质特性具有重要意义^[1-2]。评价面包品质的方法分为主观评价和客观评价^[3]。主观评价采用人工评分的方法,对面包的外观、内部结构、品尝口感进行打分,由于其具有主观性强、操作繁琐、准确性和复现性差等缺点^[4],现在主要采用仪器对面包的品质特性进行客观的评价,即 TPA 质构分析。TPA 质构分析又被称为两次咀嚼测试,通过模拟人口腔咀嚼运动,对面包进行两次压缩得到测试曲线,从中分析面包质构特性参数:硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性等。彭义峰等^[5]的研究证明了客

观评价与主观评价具有显著的相关性,但是 TPA 质构分析需对面包进行破坏,无法实现无损检测。

目前,利用食品的声学特性进行食品的无损检测研究倍受重视。Lakshmanan S 等^[6]根据肉制品在超声波作用下的吸收特性和衰减系数以及其本身的声阻抗,对肉制品中脂肪含量进行了无损检测研究。危艳君等^[7]利用声波信号的声透过率建立了西瓜糖度检测模型,为声学无损检测西瓜成熟度提供了参考。张林^[8]采用传递函数法在阻抗管中对小麦、精米、糙米、大豆、稻谷、玉米 6 种粮食进行了声阻抗特性、吸声系数的检测,设计了粮堆声信号无损检测分析平台。以上研究都是以食品的隔声系数、吸声系数为研究重点,说明食品的隔声系数、吸声系数与食品品质特性的相关性更大些。由于隔声系数能够反映物质整体的结构特征,本研究拟从面包的声学特性入手,针对面包隔声系数与质构特性参数的相关性进行研究,建立起面包声学特性与面包客观评价的桥梁,并用最小二乘法进行回归分析,为实现面包品质特性的无损检测提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

面包材料:主要是从超市购买的白面包和全麦面包 2 种,全麦面包是指用没有去掉外面麸皮和麦胚的全麦面粉制作的面包,白面包则是用精粉制作的普通面包;

阻抗管:B&K4206 型,丹麦 Bruel&Kjaer 公司;

数据采集前端:B&K3560B 型,丹麦 Bruel&Kjaer 公司;

质构仪:TA.XT Plus 型,英国 Stable Micro System 公司。

1.2 试验步骤与方法

1.2.1 隔声系数测定 对新鲜的面包切片,得到直径为 29 mm,高度为 10 mm 的圆柱体面包样本,将样本置于声学阻抗管中,按照 GB/T 18696.2—2002 进行面包片样品隔声系数的测量,得到 100~6 400 Hz 的隔声系数曲线^[9],之后

基金项目:国家重点研发计划资助(编号:2016YFD0400305)

作者简介:梁义,男,北京工商大学在读硕士研究生。

通信作者:冯涛(1969—),男,北京工商大学教授,博士。

E-mail: fengt@btbu.edu.cn

收稿日期:2017—06—09

将新鲜的面包置于空气中,每隔 1 h 对其进行类似步骤的测量。测试系统见图 1。

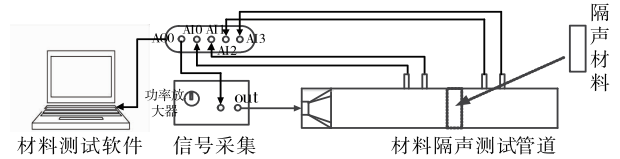


图 1 材料隔声测试系统图

Figure 1 Material sound insulation test system diagram

1.2.2 质构特性参数测定 对新鲜面包切片,得到 10 cm×10 cm,高 10 mm 的长方体面包样本,然后将样本置于质构仪试验台进行 TPA 质构分析,测前速度:2.00 mm/s;测中速度:1.00 mm/s;测后速度:1.00 mm/s;压缩程度:50%,得到面包的质构特性参数:硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性^[10],之后将新鲜的面包置于空气中,每隔 1 h 对其进行采样测量。

1.2.3 数据分析方法 用 Matlab 软件编程对测得不同时间点面包的隔声系数和其质构特性参数进行双变量相关分析,求其 Pearson 系数,公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

式中:

r —— Pearson 系数;

x_i —— 某个时间点在同一频率的隔声量, dB;

y_i —— 某个时间点的质构特性参数值;

$\bar{x}$ —— 所有时间点在同一频率隔声量的平均值, dB;

$\bar{y}$ —— 所有时间点质构特性参数的平均值^[11]。

选取最大的 Pearson 系数所对应的频率,对该频率的隔声系数与质构特性参数进行最小二乘法回归分析。

2 结果与分析

2.1 全麦面包分析结果

2.1.1 隔声系数 从试验数据中提取 5 个时间点的隔声系数曲线进行分析,见图 2。

根据图 2 可以发现,随着面包在空气中放置时间的延长,面包的隔声系数曲线整体向上移动,说明面包的隔声系

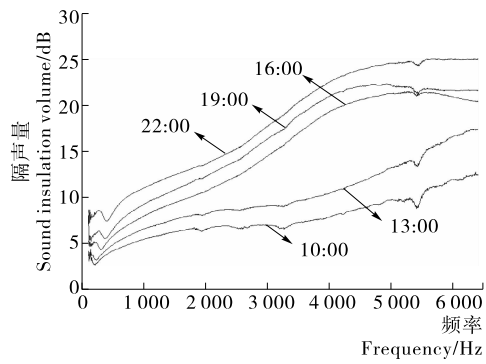


图 2 不同时间的隔声系数曲线

Figure 2 Sound insulation coefficient curve at different time

数在不断提高。由于面包长时间置于空气中,其结构会变得密实,结构表面变得坚硬,大多数声能在面包中被反射回来,导致隔声系数在不断提高。

2.1.2 质构特性参数 从试验数据中提取 5 个相同时间点的质构特性参数进行分析,见表 1。

表 1 不同时间的质构特性参数

Table 1 Texture parameters at different time

时间	硬度/N	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
10:00	4.33	5.82	2.58	15.04
13:00	5.53	5.50	3.63	19.96
16:00	7.10	5.29	4.60	24.39
19:00	10.44	5.12	6.33	32.24
22:00	11.97	5.00	7.24	36.09

根据表 1 可以发现,随着面包在空气中放置时间的延长,面包的硬度、胶黏性、咀嚼性都有所提高,而面包的弹性却随之降低,这是由于面包中的支链淀粉结晶以及水分的迁移,导致面包结构变得密实,结构表面变得坚硬^[12]。

2.1.3 相关性分析及最小二乘法回归分析 在测量隔声系数试验中,得到的是面包 100~6 400 Hz 的隔声系数曲线。由于不能对所有频段的隔声系数进行最小二乘法回归分析,需要选出相关性较大的频段,因此先进行双变量相关分析,计算不同频率的 Pearson 系数,选取 Pearson 系数最大值(指绝对值最大)所在的频段^[13],见表 2。

表 2 不同质构特征参数的 Pearson 系数

Table 2 Pearson coefficients of different textural parameters

质构特征参数	Pearson 系数范围	最大 Pearson 系数对应的频率/Hz
硬度	0.899~0.991	100
弹性	-0.992~-0.794	6 304
胶黏性	0.897~0.993	1 684
咀嚼性	0.891~0.993	1 764

根据表 2 和图 3 可以发现,面包的硬度、胶黏性、咀嚼性都与 100,1 684,1 764 Hz 频率的隔声系数呈显著正相关,面包的弹性与 6 304 Hz 隔声系数呈显著负相关。分别选择 100,6 304,1 684,1 764 Hz 的隔声系数与面包的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性进行最小二乘法回归分析^[14]。

100 Hz 隔声系数与面包硬度回归方程为 $y=1.480\ 6x-1.110\ 8$;6 304 Hz 隔声系数与面包弹性回归方程为 $y=-0.067\ 9x+6.663\ 9$;1 684 Hz 隔声系数与面包胶黏性回归方程为 $y=0.738\ 5x-2.339\ 4$;1 764 Hz 的隔声系数与面包咀嚼性回归方程为 $y=3.276\ 8x-7.051\ 0$,均呈线性关系。

2.2 白面包分析结果

2.2.1 隔声系数 从试验数据中提取 8 个时间点的隔声系数曲线进行分析,见图 4。

根据图 4 可以发现,随着面包在空气中放置时间的延长,

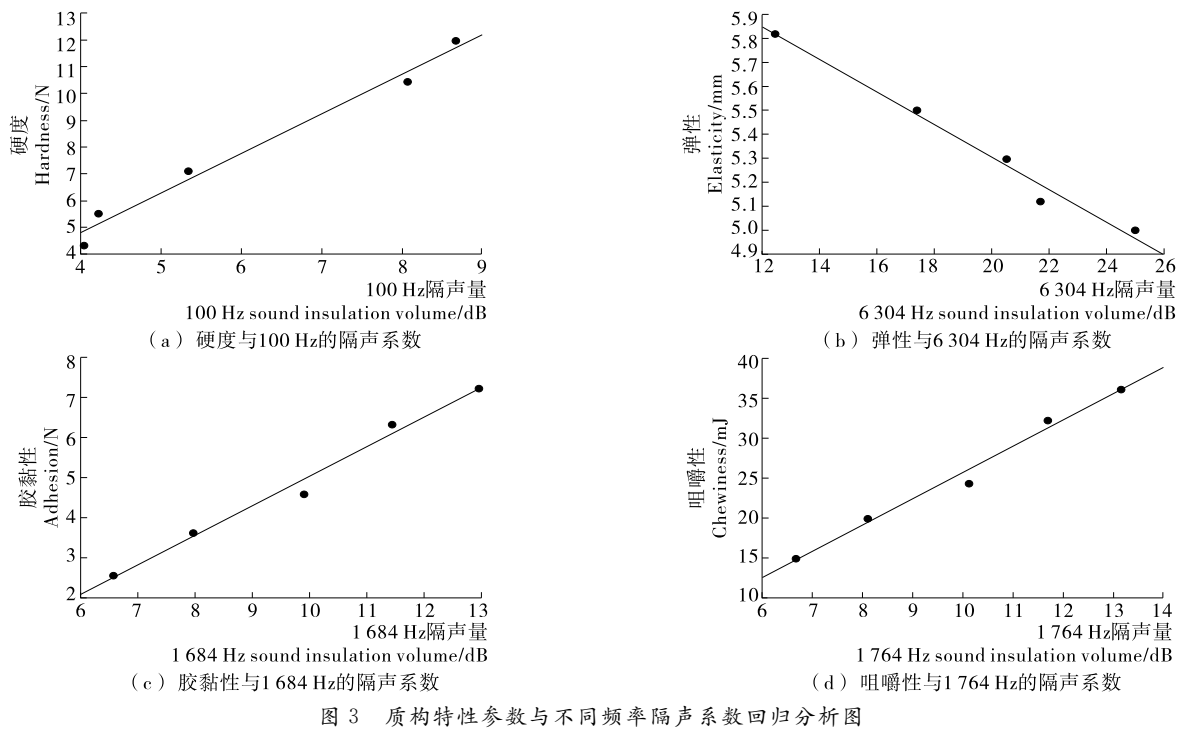


Figure 3 Regression analysis chart of textural characteristic parameters and sound insulation coefficient at different frequencies

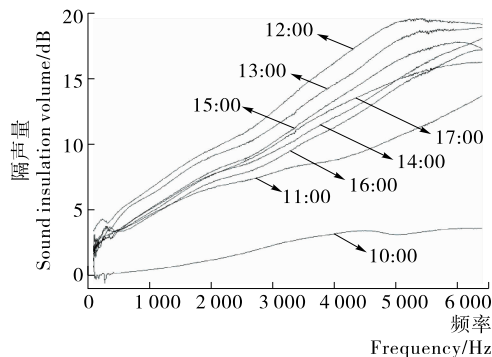


Figure 4 Sound insulation coefficient curve at different time

面包的隔声系数曲线没有明显的变化规律,在 10 : 00 时面包的隔声系数曲线在最下边,说明此时的面包隔声系数最低;在 12 : 00 时面包的隔声系数曲线在最上边,说明此时的面包隔声系数达到最高。

2.2.2 质构特征参数 从试验数据中提取 8 个时间点的质构特性参数进行分析,见表 3。

根据表 3 可以发现,随着面包在空气中放置时间的延长,面包的硬度、胶黏性、咀嚼性都有所提高,而面包的弹性有下降的趋势,与全麦面包相同,都是由于面包中的支链淀粉结晶以及水分的迁移,导致面包结构硬化。

2.2.3 相关性分析及最小二乘法回归分析 先对所有频段隔声系数与质构特性参数做双变量相关分析,计算不同频率的 Pearson 系数,选取 Pearson 系数最大值(指绝对值最大)的频段,见表 4。

表 3 不同时间的质构特性参数				
Table 3 Texture parameters at different time				
时间	硬度/N	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
10 : 00	2.84	5.54	1.89	10.40
11 : 00	4.16	5.29	2.83	14.96
12 : 00	5.36	4.95	3.62	17.90
13 : 00	6.64	4.93	4.38	21.55
14 : 00	9.34	4.94	5.39	26.60
15 : 00	10.79	4.79	6.49	31.06
16 : 00	11.77	4.63	7.26	33.65
17 : 00	14.04	4.44	8.28	36.79

表 4 不同质构特征参数的 Pearson 系数		
Table 4 Pearson coefficients of different textural parameters		
质构特征参数	Pearson 系数范围	最大 Pearson 系数对应的频率/Hz
硬度	-0.333~0.529	6 116
弹性	-0.732~0.032	5 920
胶黏性	-0.282~0.560	6 116
咀嚼性	-0.264~0.583	6 168

根据表 4 可以发现,面包的硬度和胶黏性都与 6 116 Hz 的隔声系数呈中度相关,面包的咀嚼性与 6 168 Hz 的隔声系数也呈中度相关,而面包的弹性与 5 920 Hz 的隔声系数呈中度负相关,与全麦面包相比相关性较差。分别选择 6 116,5 920,6 116,6 168 Hz 的隔声系数与面包的硬度、弹

性、胶黏性和咀嚼性进行最小二乘法回归分析。

根据图 5 可以发现,样本点零散的分布在最小二乘法回归直线两边,说明白面包的隔声系数与其硬度、弹性、胶黏

性、咀嚼性不具有线性关系。相比于全麦面包,白面包中不含有麸皮,其结构变化不会受到麸皮的影响,因此白面包的隔声系数与其硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性不具有线性关系。

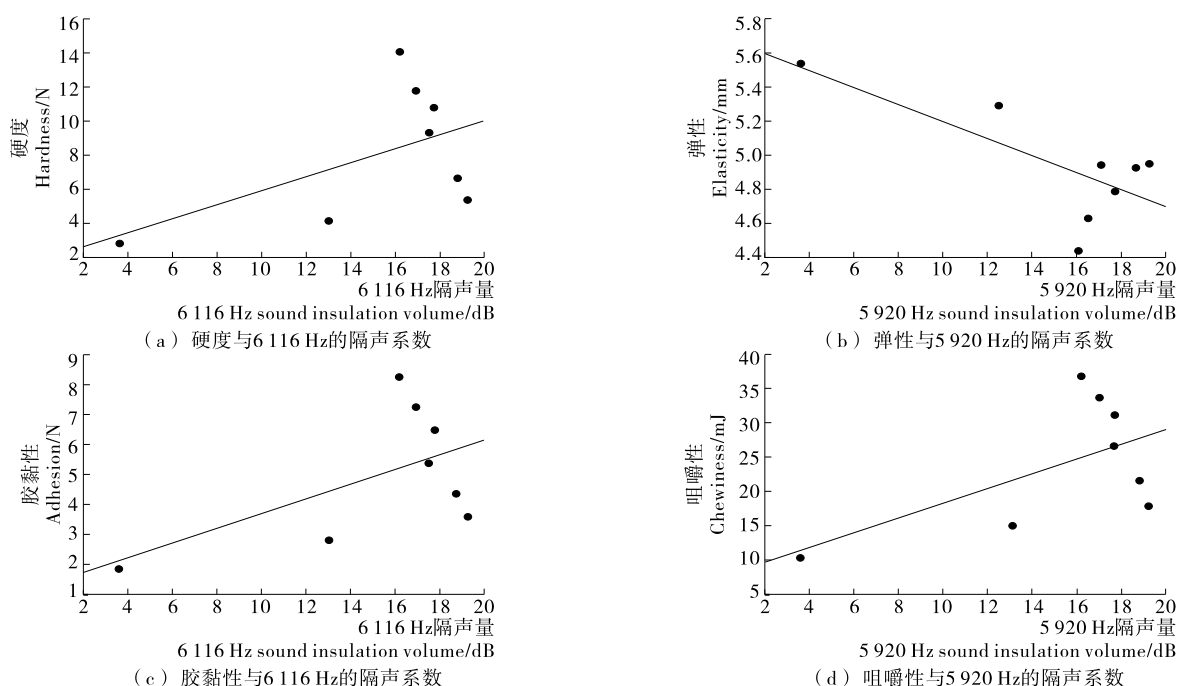


图 5 质构特性参数与不同频率隔声系数回归分析图

Figure 5 Regression analysis chart of textural characteristic parameters and sound insulation coefficient at different frequencies

3 结论

由于试验选取的样本数量和品种的限制,本研究有一定的局限性,且面包只放置了比较短的时间,对于放置长时间的研究试验,还需要进一步完善。本试验主要对全麦面包和白面包的质构特性参数与隔声系数进行相关性研究,最后用最小二乘法进行了线性回归分析。得到以下几个结论:

(1) 两种面包在空气中的时间越长,其硬度、胶黏性、咀嚼性越大,弹性降低。

(2) 全麦面包在空气中的时间越长,其隔声系数也随之增加;白面包在空气中的时间越长,其隔声系数没有明显的规律性变化。

(3) 全麦面包的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性都分别与特定频率的隔声系数呈线性关系;白面包的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性与隔声系数不呈线性关系。

本试验构建的面包质构特性参数与隔声系数的数学模型,可为面包品质特性的无损检测提供试验依据,由于全麦面包的质构特性参数与隔声系数具有线性相关性,接下来可以研究全麦面包品质特性无损检测系统的设计与实现。

参考文献

- [1] 王坤, 吕振磊, 王雨生, 等. 变性淀粉对面团流变学特性和面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 20-24.
- [2] 吕莹果, 范晨丽, 陈洁, 等. 冷却条件对预烤冷冻面团品质影响[J]. 食品与机械, 2011, 28(4): 161-164.
- [3] 楚炎沛, 刘伟森. 面包品质评价体系的研究进展[J]. 粮油食品科

技, 2010, 18(2): 7-9.

- [4] 赵清霞, 郑环宇. 湿豆渣面包仪器质构与感官质构相关性分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 94-99.
- [5] 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]. 食品工程, 2011(2): 119-123.
- [6] LAKSHMANAN S, KOCH T, BRAND S, et al. Prediction of the intramuscular fat content in loin muscle of pig carcasses by quantitative time-resolved ultrasound[J]. Meat Sci, 2012, 90(1): 216-225.
- [7] 危艳君, 饶秀勤, 漆兵. 基于声学特性的西瓜糖度检测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 283-287.
- [8] 张林. 粮堆中声传播特性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [9] SONG B H, BOLTON J S. A transfer-matrix approach for estimating the characteristic impedance and wave numbers of limp and rigid porous materials[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2000, 107(3): 1 131-1 152.
- [10] 王晓彬, 郭兴凤, 郝利平. 测定条件对面包 TPA 测定结果的影响[J]. 河南工业大学学报, 2013, 34(4): 53-55.
- [11] 孙逸敏. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性[J]. 新疆教育学院学报, 2007, 23(2): 120-123.
- [12] 张晓娟, 王强, 钱平. 面包长期贮存过程中的硬化研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 54-59.
- [13] 张宇镭, 党琰, 贺平安. 利用 Pearson 相关系数定量分析生物亲缘关系[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(33): 79-82.
- [14] 曹永强, 刘琳, 姜莉, 等. 冬小麦水肥生产函数最小二乘法回归建模及分析[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(2): 45-48.