

薯片断裂声学特性与硬度、脆度相关性研究

Study on correlation between sound of breaking and crispness of potato chips

张子涵 冯涛 梁义 冯丽丽 王晶

ZHANG Zi-han FENG Tao LIANG Yi FENG Li-li 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:利用质构仪对薯片硬度、脆度进行断裂试验,同时收集断裂声信号进行对比分析,建立薯片酥脆度与声学特征之间的关系,对其进行物理性质的声学评级。针对 3 种不同薯片产品的硬度、脆度及韧性,与其断裂声音特性之间的关系进行相关性分析。结果表明:薯片脆性越大,硬度越小,韧性越小,断裂声声压级越大,但不呈线性相关。

关键词:薯片;脆度;声学特性;力学测量;断裂声

Abstract: The hardness and crispness of potato chips were tested by texture analyzer in the present study. Moreover, the fractured acoustic signals were collected to analyze the relationship between the crispness of potato chips and the acoustic characteristics, and the acoustic rating of physical properties were evaluated. The relationship between the hardness crispness and flexibility of three different potato chips and their acoustic characteristics were investigated. The results showed that the more crispness of potato chips had, their hardness and toughness were lower, and the sound of breaking was louder. However, no significant linear correlation were found between the characteristics.

Keywords: potato chips; crispness; acoustic characteristic; mechanical measurement; sound of breaking

薯片因其众多的口味、酥脆的口感成为一种深受广大消费者喜爱的休闲食品,目前市场上油炸薯片、油炸玉米片的种类越来越多,薯片的硬度、酥度、脆度、韧性直接影响了消费者的满意度与食用体验,成为评价薯片品质的重要指标,酥脆度与薯片的组织结构性质有关,在薯片的加工、销售、贮藏过程中,保证其不被挤压破损、受潮直接关系到薯片产品品质的优劣,针对薯片硬度、酥脆性、韧性等要素的研究也愈发受到重视^[1]。

基金项目:国家重点研发计划资助(编号:2016YFD0400305)

作者简介:张子涵,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—10—20

脆性这一属性的判定在国内外都还没有确定的定义,总的可以归结为两点:①脆性是一种力^[2];②脆性是一种通过声音特质来判断的属性,是样品受到外力作用断裂发出的声音^[3]。薯片酥脆性的测量和评判方法主要分为感官方法和仪器方法^[4]。感官方法是评价者对薯片产品的主观评价,这种方法需要大量的评价人员来完成,操作有一定难度。仪器方法分为机械方法和声学方法。机械方法是通过模拟牙齿咀嚼^[5]的过程,采用质构仪对薯片施加外力使其发生形变破损来测量,得到这一过程中的力与时间之间的曲线,对曲线再进行分析后得到反映其脆性的数据。这种测量方式可以量化薯片的脆性,更加科学,操作相对简单,但是机械方法只能分析其物理属性,不能直接反映薯片产品的酥脆程度、硬度与韧性等方面的特性,其数据结果与分析过程复杂^[6]。声学方法是通过分析薯片在被挤压时发出的声音信号来反映脆性^[7],通过对声波信号的后处理即可得到相应结论。相对而言,声学测量数据结果分析更为直观,更有助于消费者区别脆性食品品质的优劣。可通过计算质构仪测量曲线的斜率得到薯片脆性,初始斜率大的试样其脆性较大,反之脆性较小。为研究薯片的脆性与其破损时发出的声波信号之间的关联,拟以市面上常见的 3 种薯片产品作为研究对象,利用质构仪^[8]的三点支撑试验进行脆性测量,同时采集薯片破损时发出的声波信号,从而得到薯片破损发出的声音与其脆性之间的关系,旨在为脆性食品的研究、品质控制以及标准制定提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

薯片:市售某品牌袋装薯片与桶装薯片。

1.2 测试仪器

数据采集前端: B&K3560B 型,丹麦 Bruel&Kjaer 公司;

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

1.3 试验方法

1.3.1 样品的选择 选择标准:相同口味不同形状的薯片产

品,不同口味相同形状的薯片产品等。

1.3.2 物性测试仪的设定 采用三点支撑法模拟牙齿咀嚼的试验过程,在下压过程中测试力的大小为 0.2 N;测试前速度采用默认速度设置,测试不同薯片产品的速度不变;测试距离为 20 mm;感应力量程为 100 N^[8]。

1.3.3 声音数据采集前端的设定 声信号采集在物性测试的同时进行。信号采集时长为 30 s;频谱分析带宽为 12.8 kHz,分析精度为 800 线。

1.3.4 测量结果指标的选择 样品在测量之后,物性测试仪可以得到力—时间曲线,通过曲线可以直观得到最大力(force)以及面积(area)^[9]。声振数据采集前端可以得到薯片产品破碎时发出的声音信号在时域与频域上的曲线图,见图 1。力与时间示意图中特性参数的描述见表 1。

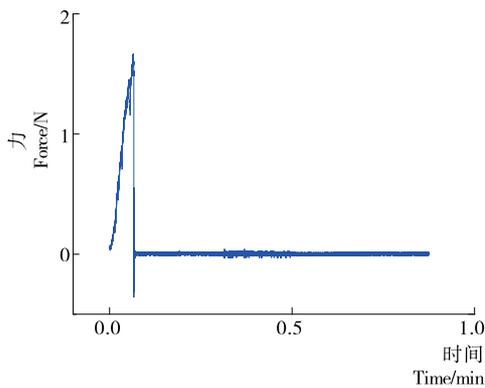


图 1 力—时间曲线图

Figure 1 Force-Time curve

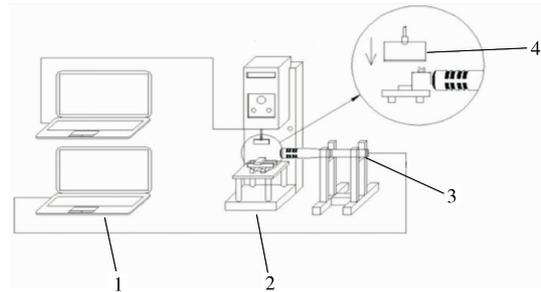
表 1 力—时间曲线中的参数意义

Table 1 Meaning of parameters in Force-Time curve

参数	注释
最大剪切力	曲线中的最大力,表示在下压过程中样品的断裂力,可用来表示硬度
达到最大剪切力的距离	达到最大力的距离,反映了脆度
面积	破断样品所做的功,可反映韧性
剪切力做功	达到最大力处的斜率,反映刚性、脆性,用来表示样品易碎性

1.3.5 声音信号的采集 马铃薯片经过烹炸或烤制得到脆口的薯片产品之后,会在内部形成空腔结构,外部较硬脆,这样的结构在受到外力时,往往不会发生形变弯曲就直接破损断裂。这一过程会发生相应的振动进而产生声辐射。而在评判薯片断裂时发出的声音与其脆性之间的关联时,一般有 2 种主要的判断方法:① 感官判断,在咀嚼过程中牙齿咬合时,在没有完全吞没之前,声音通过骨骼传导和空气传导的共同记录和分析;② 声波信号的研究,在进行质构仪的压迫试验的同时进行薯片破损时发出的声音信号的采集,可以得到声波信号的振幅—时间曲线图和振幅—频率曲线图,后者是前者进行快速傅里叶变换(FFT)^[10]后得到的,这 2 种声波图形结合起来,可以提供大量的试验数据,从而得到薯片产品脆性与声学特性之间的关系。

声波通过数据采集前端进行采集,与质构仪的三点支撑试验同时进行,传感器距桌面高度为 16 mm,放置于距离质构仪样品放置处 20 mm。利用计算机 Pulse 软件进行声音的收录、编辑及储存功能。采样频率为 65 536 Hz,采样频率越高,采集声音样本的时间间隔越短,单位时间内采集的声音样本数量越多,可以描述出更加精确的声音波形图^[11]。试验台设计见图 2。



1. 计算机 2. 质构仪 3. 声音传感器 4. 探头

图 2 薯片测试与声音信号采集基本流程

Figure 2 Basic process of potato chips testing and sound signal collection

1.3.6 数据分析方法 用 Matlab 软件对测得每片薯片断裂声声压值进行时域和频域的处理,并对其质构特性与断裂声声压值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 ——各个频率的隔声声压值, dB;

y_i ——各个薯片质构特性参数值;

\bar{x} ——各个频率的隔声声压值平均值, dB;

\bar{y} ——各个薯片质构特性参数平均值^[12]。

选取最大的 Pearson 系数所对应的频率,对该频率的质构特性与断裂声声压值进行最小二乘法回归分析。

2 结果与分析

2.1 力学试验结果处理

选取相同的剪切探头、相同的参数测定 3 种薯片产品,为了测试薯片在环境中水分挥发对其脆度的影响,试验分为 5 组进行,每组试验同一口味薯片测试 2 片,时间间隔为 2 h,备测薯片放置于同一环境条件下,测试结果见表 2。

由表 2 可知,袋装原味薯片的硬度最大,其次是桶装原味薯片,桶装烤肉味薯片硬度最小;达到最大力的距离桶装烤肉味薯片最大,桶装原味薯片其次,且两者远远大于袋装原味薯片;袋装原味薯片的韧性是最大的,桶装烤肉味薯片和桶装原味薯片其次,且相差不大。袋装薯片的硬度比桶装薯片硬度明显更大,韧性也更好,而达到最大力的距离却明显小于桶装薯片;而相比薯片种类,口味对于薯片特性的影响并不显著,四项参量的数据都显示相差不大,口味对于薯片物理特性有所影响,但相对于以上两个因素可以忽略。

试验也进行了时效性^[13]的比较,每间隔 2 h 做一组试

表 2 采用咬合探头对不同样品的测试结果

Table 2 Results of different potato chips samples testing by occluding probe

样品名称	最大剪切力/g	最大距离/mm	面积/(N·mm)	做功/(N·mm ⁻¹)
桶装原味薯片	3.03±2.77	6.300±4.600	3.688 3±3.373 5	2.815 2±2.843 4
袋装原味薯片	4.46±2.86	4.080±2.800	4.421 7±3.396 0	2.984 2±2.807 4
桶装烤肉味薯片	2.87±0.53	6.495±4.980	3.889 4±1.952 1	1.635 6±1.410 7

验,每组 3 种口味分别选取 2 片样本薯片进行试验,在试验之前先将所有样本薯片挑选出来,放置在同一室内(温度为 24℃、空气湿度 26%),以保证薯片的水分、油分蒸发的速度一样。试验结果表明,每个时间段测得的硬度数据,与时间并没有呈明显的正相关关系,说明薯片包含的水分不多,水分作为影响脆性的重要因素,在本次试验中并不作为重点指标讨论。

2.2 声音信号的处理结果

通过傅里叶变换可以显示在试验中收取声音信号的时间内,频率能量的分布情况^[14],见图 3。

由图 3 可以看出,在频率 1 360 Hz 处,有最大声压级 58.71 dB,说明在这个频率上,声音能量最大。将全部(33 组)

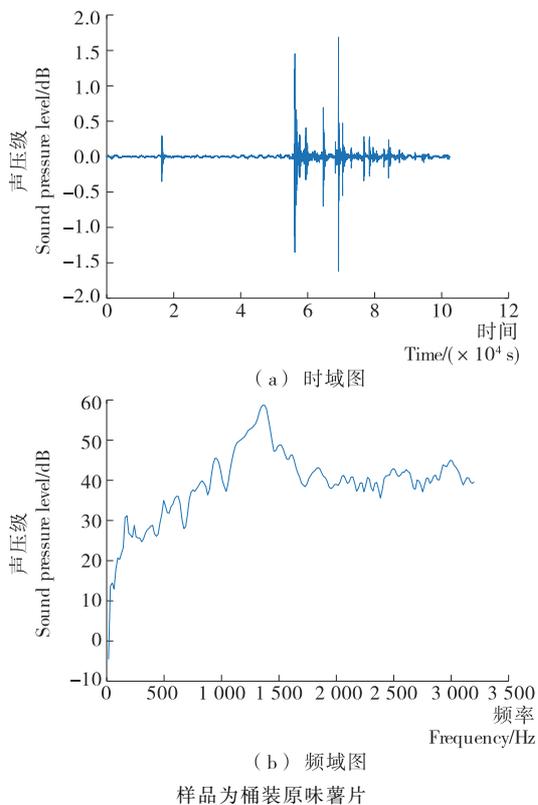


图 3 第一次薯片样品试验的时域图和频域图

Figure 3 Frequency plot of the first potato chips testing

试验结果统计之后得到表 3。

在时间维度上比较 3 种薯片产品随时间的变化,在空气中存放,其脆度变化并没有明显规律可循,每种薯片所选取样品本身的内部结构稀疏程度不同导致其破损时发出的声波声压级有较大差别^[15]。由最大剪切力与声压级对应数据可以看出,当声压级高时,所对应的最大剪切力也大,最大剪切力做功也大,但不是呈现线性增长。故声音大小与高低在一定程度上可以反映薯片产品的脆性程度。

表 3 3 种薯片试样所得声压级结果

Table 3 Three potato chips samples sound pressure results

样品名称	声压级均值/dB	声压级方差/dB
桶装原味薯片	66.2	12.9
袋装原味薯片	69.4	15.7
桶装烤肉味薯片	68.4	11.1

2.3 相关性分析及最小二乘法回归分析

在薯片断裂声试验中,得到了 3 种薯片的断裂声声压级变化,并且分别对其硬度、脆度及韧性 3 种属性与声压级之间的相关性进行分析^[16],计算其相关性系数范围见表 4。

根据表 4 可以发现,3 种薯片样品在硬度、脆度以及韧性 3 个属性与其断裂声声压级的相关性呈现出不确定性,桶装原味薯片的断裂声声压级与其属性呈现出较强的相关性,而剩下 2 种薯片则呈现负相关性或弱相关性^[17];3 种属性之间对比来看,脆度与断裂声声压级的相关性呈现中度或较强相关,相关性要高于其他 2 个属性。分别对断裂声声压级与 3 种薯片的硬度、脆度及韧性进行最小二乘法回归分析。

根据图 4 可以发现,样本点零散的分布在最小二乘法回归直线两边,没有特定的规律,说明薯片的断裂声声压级特性与其硬度、脆度与韧性不具有线性关系。

3 结论

(1) 对比薯片剪切试验与声波采集试验可以看出,破损时发出较大声波的薯片对应的最大剪切力与最大剪切力做功较大,要比发出小声波的更脆、断裂更加明显。所以,通过咀嚼过程中发出的声音大小与高低来判断薯片产品的脆性

表 4 不同质构特征参数的相关性系数

Table 4 Correlation coefficients of different textural parameters

样品	硬度	脆度	韧性
桶装原味薯片	0.407 3~0.620 9	-0.804 4~-0.954 6	0.699 1~0.952 5
袋装原味薯片	-0.525 1~-0.137 7	-0.505 1~-0.015 2	-0.229 6~0.085 6
桶装烤肉味薯片	-0.461 1~-0.293 4	-0.261 0~0.583 8	-0.636 0~0.235 5

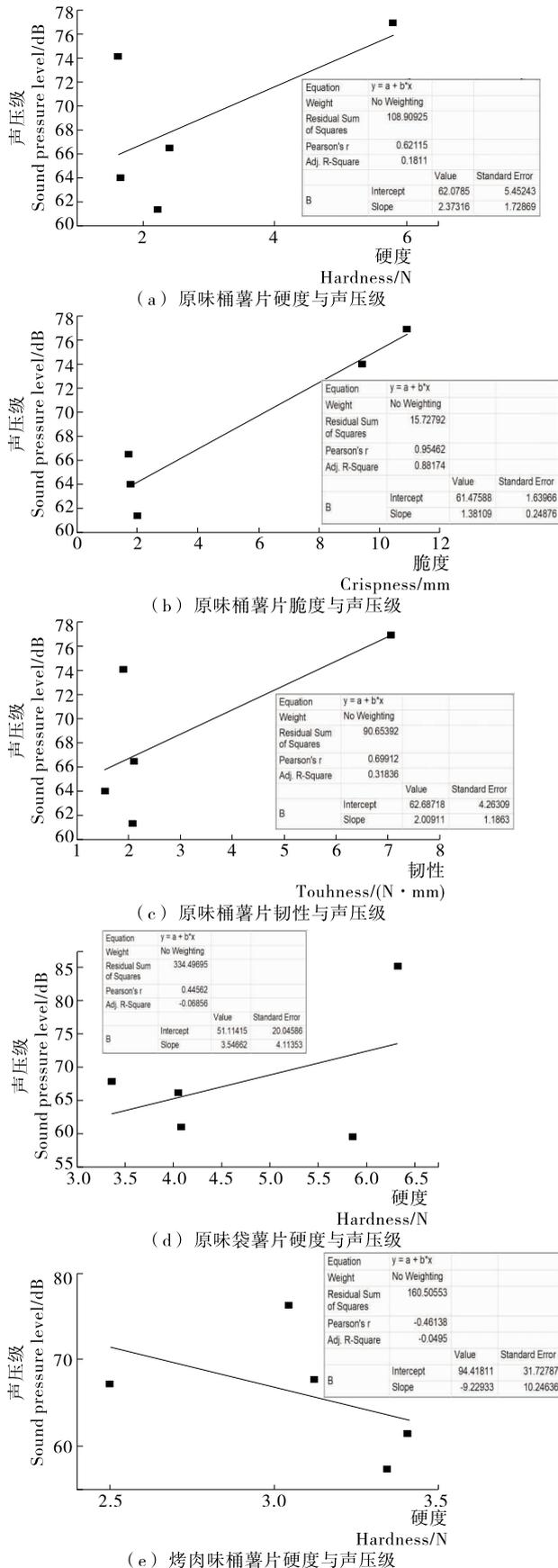


图4 质构特性参数与声压级回归分析图

Figure 4 Regression analysis chart of textural characteristic parameters and sound pressure coefficient at different frequencies

有一定科学性。但是脆度反映在声压上没有较明显的规律可循,机械测试方法能更直观方便地测试脆性食品的脆度。

(2)薯片本身的硬度、脆度及韧性与其断裂时发出的断裂声之间并没有直接线性关系。

(3)脆度是一种人的多种感官对脆性食品的复杂感知,听觉信号是其中的重要组成部分,因此在进行脆性食品的脆度评判时,将听觉评价与仪器测试结合起来,会得到更加全面的评价,既能得到脆性食品的力学特性,又能与主观评价形成对应参考。

参考文献

[1] 于修焯, 宋丽娟, 张建新, 等. 薯片在油炸过程中品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 102-107.

[2] 于泓鹏, 曾庆孝. 脆度的研究方法及其控制参数[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(3): 85-89.

[3] ENDO H, INO S, FUJISAKI W. The effect of a crunchy pseudo-chewing sound on perceived texture of softened foods[J]. Physiology & Behavior, 2016, 167: 324-331.

[4] 张小燕, 赵凤敏, 兴丽, 等. 不同马铃薯品种用于加工油炸薯片的适宜性[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 276-283.

[5] 赵阿丹, 谢静, 张秋亮, 等. 食品酥脆质地的评定与表征[J]. 食品工业, 2015(1): 188-192

[6] 孙钟雷, 张长平, 段建礼, 等. 咀嚼脆裂声音与食品脆性的关系[J]. 食品科技, 2017(6): 95-98.

[7] 王亮. 谷物早餐质构特性—脆性的研究[J]. 粮食加工, 2007, 32(6): 86-91.

[8] 胡璇, 夏延斌, 邓后勤. 利用质构仪测定剁椒脆度方法的研究[J]. 辣椒杂志, 2010, 8(3): 40-43.

[9] 谢伟妮, 陈建杨. 食品脆度的客观表征及其通用测量公式的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 150-152.

[10] 刘洋, 孙永海. 基于断裂声音信号的胡萝卜质地评价研究[D]. 长春, 吉林大学, 2016: 13-28.

[11] SAELEAW M, SCHLEINING G. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(3): 387-399.

[12] 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.

[13] PRIMOMARTIN C, HDE B, HAMER R J, et al. Fracture behavior of bread crust: Effect of ingredient modification [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(3): 604-612.

[14] SI I, AKIMOTO H, SAKURAI N. Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(1): 26-32.

[15] MARUYAMA T T, ARCE A I C, RIBEIRO L P, et al. Time-frequency analysis of acoustic noise produced by breaking of crisp biscuits[J]. Science Direct, 2008, 86(1): 100-104.

[16] TANIWAKI M, KOHYAMA K, TANIWAKI M. Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 112(4): 268-273.

[17] 孙钟雷, 许艺, 彭怡梅, 等. 基于仿生技术的榨菜脆性检测方法研究[J]. 现代食品科技, 2016(7): 214-219.