

多因素对开心果碰撞声特征的影响

Effects on impact acoustics characteristics of pistachio by multiple factors

钟晨玉 冯 涛 王 涛 臧富瑶

ZHONG Chen-yu FENG Tao WANG Tao ZANG Fu-yao

(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:设计了开心果碰撞声分拣试验装置,以开闭口果碰撞声的综合对数衰减率之差为判断依据,分析对比了传声器位置、开心果下落高度及碰撞块倾斜角度对碰撞声特征的影响。研究表明:在两种条件下,① 传声器与碰撞面成 45° ,距离碰撞点 10 cm 左右时;② 保持传声器在上述条件下的位置不变,开心果下落高度为 70~100 cm、碰撞块倾斜角度为 30° 时,所采集到的声信号特征具有更好的分拣可靠性,使得开心果分拣设备的分拣准确率从 70% 提高至 100%。

关键词:开心果;机械分拣;碰撞声;声学特征;综合对数衰减率

Abstract: An experimental pistachio sorting device based on impact acoustic of pistachio was designed in the study. Judged by the integrated logarithmic decrement difference, the impact acoustic characteristics of pistachio caused by different microphone position, different falling height of pistachios and different tilt angle of collision block was compared and analyzed. The research shows that the result could achieve better sorting reliability under two conditions. First, when the angle between the microphone and the impact surface is 45° with the distance between the microphone and the impact point is about 10 cm; Second, when the pistachios falling height is between 70 cm to 100 cm and the tilt angle of collision block is 30° with the microphone position unchanged, and the sorting accuracy rate of pistachio sorting equipment can be increased from 70% to 100%.

Keywords: pistachio; mechanical sorting; impact acoustics; acoustic characteristics; integrated logarithmic decrement

在开心果的生产过程中,有效快速地进行开口果与闭口果的分拣,是提高开心果生产产量及产品质量的重要手段^[1-2]。传统的开、闭口果分拣模式主要以人工分拣和纯机

械分拣为主,劳动力成本较高、分拣效率较低且对开心果也会造成一定损坏。近年来,农产品质量无损检测技术^[3]在其生产领域中不断延伸。其中,基于声学特性分析法的检测技术已应用于西瓜糖度检测^[4]、鸡蛋裂纹检测^[5]、苹果品质检测与分类^[6]、谷物含水率检测^[7]等。与此同时,国内外学者针对于通过碰撞声特征进行开心果的分拣,展开了许多研究工作。

Pearson^[8]提出利用碰撞声检测开心果开、闭口情况的方法,并设计了开心果碰撞声检测系统,其原理是通过时域波形分析获得包含开闭口信息的多个碰撞声特征,组合为特征向量,然后采用线性判别分析方法筛选为开口的开心果。该碰撞声检测系统成功地实现了开口和闭口开心果颗粒的分拣,吞吐量约为 216 kg/h,分类准确率为 97.0%。Cetin 等^[9]采用主成分分析与 mel 倒谱系数所获得的开心果碰撞声特征值进行线性组合,将开口开心果的正确识别率提高到 98.6%,未开口开心果的识别率提高到 99.3%。中国研究者中,臧富瑶等^[10]从时频域的角度,进一步研究了开心果碰撞声的信号特征,得到了不同类型开心果碰撞声信号在时域和频域上所表现的不同特征。在此研究基础之上,臧富瑶等^[11]提出一种基于撞击声的开心果分拣模型,该模型利用开闭口果碰撞声在时域波形上不同的衰减规律特征,分拣出开口果和闭口果,其检测准确率在理想试验条件下可达 100%,但将分拣算法移植到所设计的开心果分拣设备上时,其分拣准确率降至 70%。

在碰撞声分拣过程中,传声器位置(包括角度和高度)、开心果下落高度 h 及碰撞块倾斜角度 β (确保开心果进入下一个加工环节)等具体参数是影响碰撞声特征的重要因素,这些参数在直接影响开心果碰撞声特征的同时,也决定了开心果分拣设备的生产成本和分拣准确率。但在以往的研究与应用过程未见相关报道。

为了解决中国在机器设计与工程应用研究上所面临的

作者简介:钟晨玉(1992—),女,北京工商大学在读硕士研究生。
E-mail:15201238735@163.com

收稿日期:2015-12-09

问题,本研究拟依据臧富瑶等^[11]提出的综合对数衰减率为分拣判据,设计各因素对开心果碰撞声特征影响程度的判定方法,对各因素的影响进行定量化研究方法,设计单一因素改变试验,分别研究传声器位置、开心果下落高度及碰撞块倾斜角度对碰撞声特征的影响规律,以期得到传声器位置、开心果下落高度及碰撞块倾斜角度的优化参数,从而提高开心果分拣设备的分拣准确率。

1 碰撞声特征与判定方法

1.1 碰撞声特征

根据臧富瑶等^[10]提出的开心果碰撞模型,闭口开心果的壳体完整,无自由边界,内部果仁可忽略,可类比于密度不均匀的刚性小球;开口开心果的壳体有裂缝,存在自由边界,这种情况下的内部果仁不可忽略,可类比于内含果仁的弹性嵌套小球。开心果与碰撞块碰撞瞬时,壳体受到冲击,果壳和果仁开始被迫振动,并向外辐射声能量,见图1。由于闭口开心果具有封闭的对称结构,刚性较大,在受到碰撞冲击后发生的变形相对位移较小,且变形回复力很大,因此能量转化时间短,在时域波形上表现为出现短暂最大峰值后迅速衰减。开口开心果则因为有自由边界的存在,整体结构刚性较小,冲击后产生的变形相对位移较大,且变形回复力较小,所以回复速度缓慢,能量转化时间长,在时域波形上表现为波峰错杂、衰减变化较缓慢,见图2。

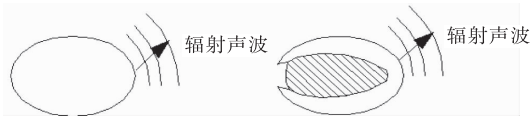


图1 开口/闭口果结构示意图

Figure 1 Structure of pistachio with opening and closed

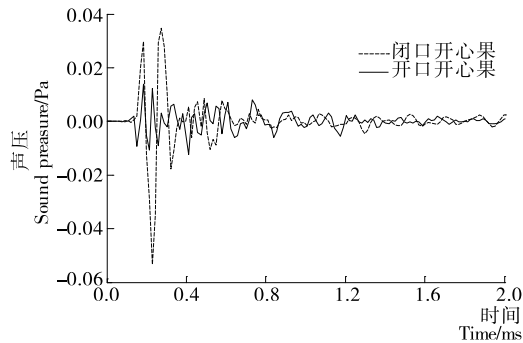


图2 开口/闭口果时域波形对比图

Figure 2 Time-domain waveform comparison chart of pistachio with opening and closed

开、闭口果在时域波形上所表现的不同,可以通过综合对数衰减率^[10]作为碰撞声的特征值进行描述。综合对数衰减率从均方差的角度,表征了具有多自由度的开心果,在碰撞过程中的阻尼振动特性,见式(1)。

$$\delta = \ln \frac{\frac{1}{t_1 - t_0} \times \sum_{t_0}^{t_1} (x_{1i} - \bar{x})^2}{\frac{1}{t_3 - t_2} \times \sum_{t_2}^{t_3} (x_{2j} - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

式中:

t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 ——碰撞信号中依次选取的4个时刻点;

δ ——开心果的综合对数衰减率;

$\bar{x}$ ——自碰撞时刻起,至衰减完毕的时段内声压幅值的平均值;

x_{1i} —— t_0 到 t_1 时间段,各时间点的幅值;

x_{2j} —— t_2 到 t_3 时间段,各时间点的幅值。

其实质表示 t_0 到 t_1 时间段, t_2 到 t_3 时间段内声压幅值的均方差之比。时域波形上起振峰值和衰减趋势的不同,使得开、闭口果在相同时间段内的综合对数衰减率有着明显区别。因此,通过设定碰撞声综合对数衰减率的界限值,就可以进行开、闭口开心果的自动化分拣。

1.2 判定方法

影响碰撞声特征的因素可分为外因和内因,内因源于开心果的物性参数,包括它的质地、密度、结构等;外因在于开心果与外界作用过程中的碰撞参数,如开心果的初速度、撞击高度、碰撞块的角度和硬度等。开心果的物性参数决定了碰撞声特征的本质,而碰撞参数则影响声特征的表现形式,如时域波形的改变等。臧富瑶等^[11]所提取的声特征在理想实验条件下的开闭口判别准确率可达100%,但在移植到分拣设备上时降至70%。这是因为当外界的碰撞参数改变时,仅考虑物性参数的影响将势必导致分拣准确率的下降。在改进分拣设备的过程中,直接采用开心果的分拣准确率作为判断依据,仅仅是间接笼统地描述了各因素对开心果分拣的影响,未能从碰撞声特征本质上研究各因素的相应贡献,进而有效优化碰撞参数(传声器位置、开心果下落高度及碰撞块倾斜角度),提高分拣准确率。因此,本研究根据上述原理,设计了各因素对开心果碰撞声特征影响程度的判定方法,以开、闭口果综合对数衰减率之间差值的大小,来表征各因素对开心果分拣可靠性的影响,见式(2)。

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2, \quad (2)$$

式中:

δ_1 ——闭口果综合对数衰减率最小值;

δ_2 ——开口果综合对数衰减率最大值;

$\Delta\delta$ ——开、闭口果间综合对数衰减率差值。

当 $\Delta\delta > 0$ 时,可通过设定界限值使开、闭口果完全分离,即分拣准确率达100%,且差值 $\Delta\delta$ 越大,两者的碰撞声特征差异越明显,开心果的分拣可靠性越高;当 $\Delta\delta \leq 0$ 时,开、闭口果发生混淆,不能通过设定界限值使其完全分开,碰撞声特征差异不明显,开心果的分拣可靠性较低。试验中具体判定流程描述如下:

(1) 利用端点检测^[12]截取多个开、闭口果的碰撞声,计算其综合对数衰减率。

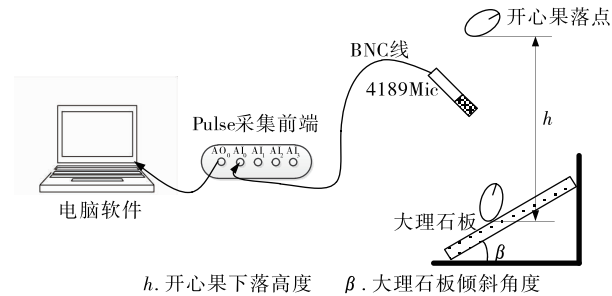
(2) 分别对开、闭口果的综合对数衰减率进行降序排列,得到两者综合对数衰减率的上、下限值。

(3) 计算开、闭口果间的综合对数衰减率差值 $\Delta\delta$ 。

(4) 改变因素变量,重复步骤(1)~(3),直到所有因素分析完成。

2 碰撞声分拣试验装置

为了保证碰撞声信号采集数据的精确性、实时性,试验在半消声室内进行,采集信号的信噪比 ≥ 10 dB。声信号采集系统主要使用经校准后的 B&K 声学测量设备,由数据采集前端 Pulse3560B,数据传输 BNC 线,6.35 mm 的传声器及在线测试软件 Pulse Labshop12.6.1 组成,试验设备的连接见图 3,与开心果分拣设备相一致。



h. 开心果下落高度 β . 大理石板倾斜角度

图 3 开心果碰撞声信号采集系统图

Figure 3 Signal acquisition system of pistachios impact sound

试验随机选取了 10 个干燥后的开口果和闭口果,将不同传声器放置位置、碰撞块放置角度以及开心果下落高度进行组合,进行了 1 920 次撞击,得到相应 1 920 个碰撞声信号。在试验后期的数据信号处理过程中,利用数据分析软件完成碰撞声时域信号的数据类型转换,进行波形的初步分析后,编写端点检测程序,截取碰撞声信号,并计算开、闭口开心果的相应综合对数衰减率。

3 试验过程及分析

3.1 传声器位置的影响

为了研究传声器与碰撞点间距离及放置角度对开心果碰撞声特征的影响。在试验中,保持碰撞块水平放置,将 3 个同样校准精度的 B&K 传声器分别与碰撞面呈 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$,以开心果碰撞点为中心,半径为 10, 20 cm 的球面位置上,对比同一高度自由下落的闭口开心果和开口开心果的碰撞声特征。在每个高度下,将这 10 个开口开心果的综合对数衰减率和 10 个闭口开心果的综合对数衰减率分别进行降序排列,用闭口果综合对数衰减率最小值 δ_1 和开口果综合对数衰减率最大值 δ_2 的差值 $\Delta\delta$ 与下落高度间的对应关系画出柱状图。图 4 为传声器距离为 10 cm 时,碰撞声信号在传声器不同放置方向下的综合对数衰减率差值柱状图。由图 4 可知,当距离保持不变时,传声器 0° 水平放置,所采集到的开、闭口果碰撞声特征表现不明显,在各个下落高度处其 $\Delta\delta$ 都小于可分拣的分界值($\Delta\delta = 0$),降低了开心果的分拣准确率。随着角度的增大, 45° 和 90° 放置的传声器所采集到的声信号特征表现明显,开、闭口果间的综合对数衰减率差值增大。其中, 45° 放置的传声器所采集的声信号在各个下落高度处其 $\Delta\delta$ 都大于可分拣的分界值,在确保分拣准确率 100% 的状况下,分拣可靠性相对较高,有利于开心果的分拣。

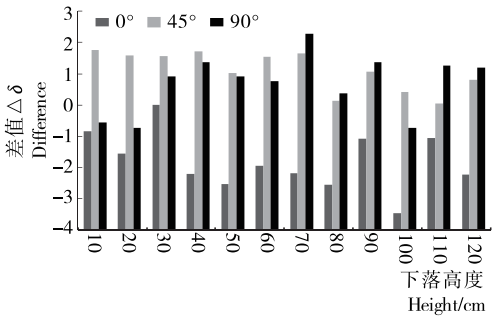


图 4 开口/闭口果综合对数衰减率差值柱状图(传声器距离:10 cm)

Figure 4 Integrated logarithmic decrement difference of pistachio with opening and closed (Distance: 10 cm)

图 5 为传声器 45° 放置时,在距离碰撞点 10, 20 cm 处的综合对数衰减率差值柱状图。通过对比图 5 中相同传声器放置角度下的碰撞声特征值,发现当传声器与碰撞点间的距离由 20 cm 变为 10 cm 时,开、闭口果之间的 $\Delta\delta$ 在大多数下落高度下有着明显的增大,这表明随着传声器距离的拉近,可以提高开心果分拣的可靠性,从而提高分拣的准确率。

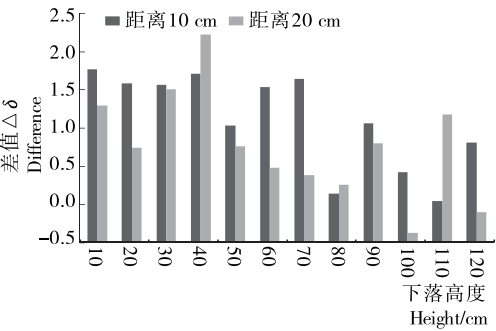


图 5 开口/闭口果综合对数衰减率差值柱状图(传声器 45° 放置)

Figure 5 Integrated logarithmic decrement difference of pistachio with opening and closed (a microphone placed at 45°)

3.2 开心果下落高度及碰撞块倾斜角度的影响

通过 3.1 发现,当传声器与碰撞面保持 45° 倾斜角,距碰撞点为 10 cm 时,能获得较好的可靠性。为排除传声器位置对其它两个变量因素的干扰,在研究开心果下落高度的影响时,保持传声器在上述位置不变。考虑到分拣设备的设计尺寸,这里将高度设定为 10~120 cm。在碰撞块倾斜角度固定的情况下,从以上规定的高度释放心果,使其自由下落。在每个高度下,将这 10 个开口开心果的综合对数衰减率和 10 个闭口开心果的综合对数衰减率分别进行降序排列,用闭口果综合对数衰减率最小值 δ_1 和开口果综合对数衰减率最大值 δ_2 的差值 $\Delta\delta$ 与下落高度间的对应关系画出柱状图。图 6 中的各种颜色的柱条表示,当碰撞块的倾斜角度分别为 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 时,不同下落高度对碰撞声特征的影响。由图 6 可知,当下落高度较低时,各倾斜角度下的 $\Delta\delta$ 偏小甚至小于分拣分界值,分拣可靠性较低且降低分拣准确率,不利

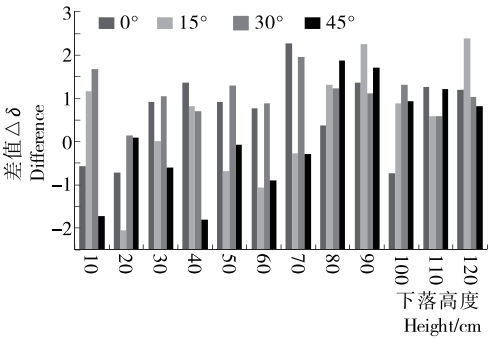


图 6 开口/闭口果综合对数衰减率差值柱状图
(传声器距离:10 cm)

Figure 6 Integrated logarithmic decrement difference of pistachio with opening and closed (Distance: 10 cm)

于开心果的分拣。随着下落高度的增大,碰撞声特征表现开始明显。当下落高度为 70~100 cm 时,开、闭口果间的综合对数衰减率差值较大,开心果分拣可靠性相对较高,分拣准确率也达到 100%。

由于当碰撞块倾斜角度大于 45°后,开心果下落后与碰撞块的接触面太小,碰撞效果不好,所以在试验中设定碰撞块的倾斜角度为 0°,15°,30°,45°。固定传声器位置,在同一高度下释放开心果,研究改变倾斜角度对碰撞声特征的影响。由图 6 还可以看出,当碰撞块角度倾斜为 0°,15°,30°时,在较高的下落高度下,开、闭口果碰撞声的综合对数衰减率差值较大,分拣可靠性高。其中,当碰撞块 30°倾斜放置时,每个下落高度下的 $\Delta\delta$ 都大于分拣分界值,即分拣准确率达 100%,也最有利于分拣。当角度倾斜达到 45°之后,其 $\Delta\delta$ 在多个高度下低于分拣分界线,分拣准确率降低。

4 结论

(1) 随着传声器与碰撞面所成角度的增大,所采集到的开、闭口果碰撞声信号特征差值越大。其中,0°放置的传声器所采集信号的 $\Delta\delta$ 在各个下落高度下都小于 0,分拣准确率非常低。对比之下,45°放置的传声器所采集开、闭口信号特征差异最大,在确保分拣准确率为 100%的状况下,分拣可靠性也最高;同时,传声器与碰撞点间距离的拉近,有利于获得更高的分拣可靠性。

(2) 当开心果下落高度越高时,开、闭口果之间的差值 $\Delta\delta$ 越大,两者碰撞声特征差异越明显。下落高度在 70~100 cm 时,可获得相对较高的分拣可靠性且分拣准确率为 100%。

(3) 碰撞块倾斜 0°~30°时,倾斜角度越大,开、闭口果间的碰撞声特征差值 $\Delta\delta$ 越大,分拣可靠性越高。当倾斜角度由 30°增加至 45°时,开、闭口果间的碰撞声特征的差值减小,分拣准确率降低。

综合上述分析,在以下两个条件下:① 传声器与碰撞平面成 45°左右角放置,距离 10 cm 左右时;② 保持传声器位置不变,开心果下落高度为 70~100 cm 时、碰撞块倾斜 30°时,能够获得较大的综合对数衰减率差值,并能够提高开心果分拣设备的准确率至 100%。以上碰撞参数是优化后的结果,最优结果还需要进一步的研究挖掘。

参考文献

[1] 梁理. 开心果生产工艺及安全卫生规范[J]. 农业与技术, 2006, 26(3): 167-170.

[2] 李国华. 用开心果攻占全球[N]. 中国经营报, 2008-06-16 (B07).

[3] 潘立刚, 张缙, 陆安祥, 等. 农产品质量无损检测技术研究进展与应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 325-330.

[4] 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.

[5] 吴雪. 鸡蛋裂纹损伤检测的声振分析方法研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 10-13.

[6] 张索非, 陈斌, 褚静. 基于声学特性的苹果无损检测方法[J]. 现代机械, 2007(2): 11-17.

[7] MATEUSZ Stasiak, MAREK Molenda, JOZEF Horahik. Determination of modulus of elasticity of cereals and rapeseeds Using acoustic method [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 8(2): 51-57.

[8] PEARSON T C. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(2): 249-253.

[9] CETIN A E, PEARSON T C, TEWFIK A H. Classification of closed and open-shell pistachio nuts using voice-recognition technology [J]. Transaction of ASAE, 2004, 47(2): 659-664.

[10] 臧富瑶, 冯涛, 王晶, 等. 基于碰撞声的开心果分拣技术研究[J]. 农产品加工, 2014(11): 65-67.

[11] 臧富瑶, 冯涛, 王晶, 等. 基于撞击声的开心果分拣模型研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 157-160.

[12] 宋知用. Matlab 在语音信号分析与合成中的应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013: 12-60.

(上接第 9 页)

[10] ZHAO Gang, PENG Lian-xin, WANG Shu, et al. HPLC fingerprint-antioxidant properties study of buckwheat [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(7): 1 111-1 118.

[11] CRAIG S A S. Polydextrose as soluble fibre: physiological and analytical aspects[J]. Cereal Foods World, 1998(43): 370.

[12] 缪铭, 张涛, 秦啸天, 等. 谷物淀粉的慢消化特性与餐后血糖应答[J]. 营养学报, 2009(3): 218-221.

[13] 郭春锋, 李婧妍, 张守文. 抗性淀粉生理功能研究进展[J]. 食品科技, 2006(2): 1-3.

[14] 陈鹏, 李玉红, 刘香利, 等. 荞麦芽菜蛋白质营养的评价研究[J]. 西北农业大学学报, 2000(5): 84-87.

[15] 张强, 李艳琴. 苦荞功能成分及其开发利用[J]. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2009(4): 85-89.

[16] 王红育, 李颖. 荞麦的研究现状及应用前景[J]. 食品科学, 2004(10): 388-391.

[17] 刘琴, 张薇娜, 朱媛媛, 等. 不同产地苦荞籽粒中多酚的组成、分布及抗氧化性比较[J]. 中国农业科学, 2014(14): 2 840-2 852.

[18] 朱建华, 杨晓泉. 反相液相色谱法同时测定大豆制品中的功能性低聚糖——水苏糖和棉籽糖[J]. 粮油加工与食品机械, 2005 (11): 71-72.