

基于振动特性的西瓜品种鉴别及糖度预测

Identification of watermelon varieties and forecast for sugar content of watermelon based on vibration characteristics

庄为¹ 李臻峰^{1,2} 宋飞虎^{1,2} 李静^{1,2} 汪迪松¹ 朱冠宇¹

ZHUANG Wei¹ LI Zhen-feng^{1,2} SONG Fei-hu^{1,2} LI Jing^{1,2} WANG Di-song¹ ZHU Guan-yu¹

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Mechanical Engineering of Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:针对通过敲击判断西瓜品质会因品种不同而造成误判的问题,构建振动检测系统,获取皇冠、早佳8424、京欣和硒砂4个品种西瓜频响函数,利用PNN神经网络模型实现西瓜品种的鉴别,准确率达92%以上。同时,利用逐步多元线性回归分析,通过频响函数的主要共振峰频率与糖度的关系,分别建立各品种西瓜的糖度预测模型,确定系数均在0.86以上。对预测集样本先鉴别品种再预测糖度,对于品种鉴别准确的瓜,其糖度测量误差小于6.2%;而对于品种鉴别错误的瓜,由于选用了错误的预测模型,测量误差较大。在上述基础上,可对未知市售西瓜进行品种鉴别,进而自动选取适当相应模型进行糖度测量。

关键词:振动检测;西瓜;品种;糖度;共振峰频率

Abstract: In order to solve the problem of consumers misjudgment by hitting watermelon because of different watermelon varieties, a vibration detection system was built to get the frequency response functions of “Huang guan”, “Zaojia8424”, “Jing xin” and “Xisha” watermelon. Using the PNN neural network model achieved the identification of watermelon varieties, and the accuracy was more than 92%. At the same time, according to the relationship between the sugar content and the main resonant peak frequency, the prediction model of the sugar content of each variety of watermelon was established by stepwise multivariate linear regression analysis, and the coefficient were all above 0.86. The prediction set samples were identified and then predicted the sugar content. The measurement error of the sugar content of the watermelons which were identified ac-

curately was less than 6.2%. The measurement error of the sugar content was larger for the watermelon which was identified mistakenly because of error prediction model. On the above basis, the unknown watermelons in the market could be identified, and then the appropriate corresponding model was selected automatically to measure the sugar content.

Keywords: vibration testing; watermelon; varieties; sugar content; formant frequency

中国西瓜产量一直稳居世界第一,在世界总产量中始终占据60%以上^[1]。西瓜传统的鉴别方法主要是看、听,效率极低。而振动声学检测方法简单,抗干扰能力强,检测装置成本低廉,易实现小型化和智能化,被广泛用于瓜果品质检测^[2]。

国内外利用振动特性对西瓜的研究备受关注, Nourain等^[3]研究发现其杨氏模量与固有频率有着较好的相关关系; Abbasadeh等^[4-5]利用激光多普勒测振仪非接触测量西瓜的振动特性,利用频域信号对西瓜的成熟度进行预测; Mao等^[6]利用声学装置研究硬度指标与 mf^2 的关系; Taniwaki等^[7-8]利用激光多普勒测振仪测量西瓜的振动频谱,计算弹性参数 $EI=f_z^2 m^{2/3}$,研究通过EI值预测2种甜瓜达到最佳成熟的时间范围; 方汉良等^[9]开发出一套通过对敲打西瓜产生的振动频率及声音频率进行测量、分析判断西瓜是否成熟的测试仪; 浦宏杰等^[10]基于振动特性用子带频谱质心描述西瓜内部品质中的糖度及瓤色; 陆勇等^[11]检测西瓜的振动频率随贮藏时间的变化规律; 高宗梅等^[12]利用激光多普勒测振系统研究了加速度振幅、扫频速率、检测点位置3个因素对西瓜振动频谱响应特性的影响; 魏巍^[13]分析了西瓜品质指标与振动参数的相关性。国内外的研究多数提取振动信号的某些主要频率值,研究这些频率值与品质的关系,但是没有充分考虑频率间的相互影响,并且这些研究是针对某

基金项目:国家自然科学基金(编号:515082290);江苏省产学研联合创新资金(编号:BY2014023-32);江苏省食品先进制造装备技术重点实验室开放课题(编号:FM-201406)

作者简介:庄为,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:李臻峰(1968—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: 2996582592@qq.com

收稿日期:2018-01-25

特定品种的西瓜而言的,没有充分考虑西瓜品种的不同对建模的影响以及对检测效果的影响。

目前,国内外应用声学振动特性鉴别西瓜品种鲜有报道,主要是研究某特定品种瓜果的品质与振动参数的关系^[6]、用振动参数描述品质的变化趋势^[11]以及研究不同品种瓜果的某品质能否用同一类型的振动参数来描述^[14]。建模时,主要是利用振动信号的主要共振峰频率与西瓜品质的关系。但是,不同品种西瓜的内部品质预测模型有所差异,判断其品质时会因品种的不同而造成误判,因此,实现对未知西瓜的品种鉴别到品质分级的过程倍受关注,对检测精度的提升度具有一定的意义。目前,利用声学振动特性研究西瓜从品种鉴别到品质分级过程鲜有报道。本研究拟以市面上常见的皇冠、早佳8424、京欣和硒砂4个西瓜品种为样本,基于振动特性分析不同品种西瓜振动频谱的3个主要共振峰的关系,利用神经网络建立西瓜品种鉴别模型。同时,研究4个品种西瓜的振动峰频率和糖度的关系。

1 材料和方法

1.1 试验样本

西瓜:早佳8424、皇冠、京欣和硒砂,适熟瓜,样本数分别为44,20,20,20个,分别对每种西瓜编号。早佳8424西瓜样本采摘于无锡北塘区西瓜大棚内,其它品种样本均于无锡滨湖某农贸市场购买。采购时,尽量控制西瓜样本瓜形、大小、色泽均匀一致。所有测试均在采摘后1d内完成,样本保存环境为室温25℃,相对湿度60%~70%。

1.2 试验设备

数字手持折射仪:PAL-1型,日本ATAGO公司;
信号激励力锤:086C01型,美国PCB公司;
信号接收加速度传感器:352C68型,美国PCB公司;
信号调节仪:482C05型,美国PCB公司;
NI数据采集卡:USB-6259型,美国NI公司;
西瓜的敲击振动检测系统见图1。

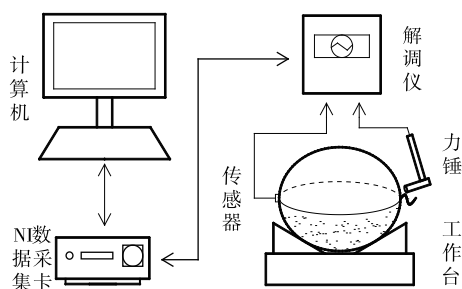


图1 西瓜敲击振动检测系统图

Figure 1 Vibration testing system for watermelon

1.3 试验方法

1.3.1 频率响应信号的采集 本研究先确定试验因素,包括冲击锤头材料、测试过程中加权平均次数和敲击位置。试验时,将西瓜沿着瓜脐和瓜蒂方向水平放置在工作台上,力锤在相应部位垂直于西瓜表面敲击,激励信号和振动信号见图2,图3为Labview程序界面上显示的频率响应函数,计算机利用Labview编写的程序处理数据并保存,以便后续处理。

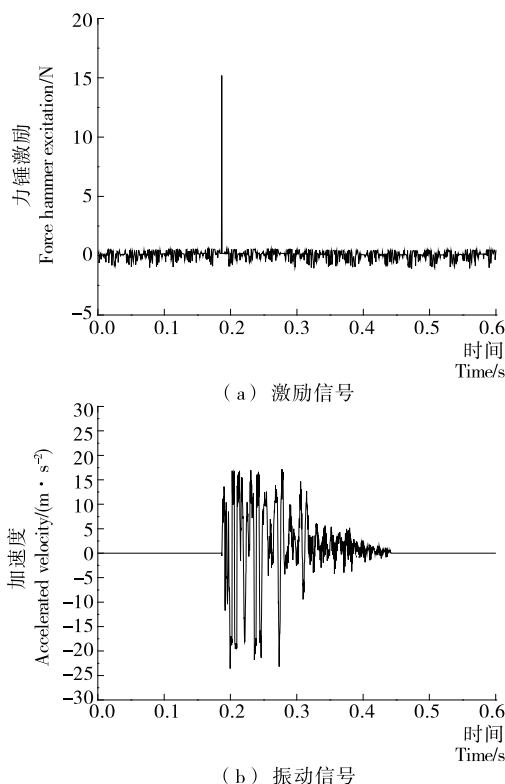


图2 力锤冲击力信号和加速度冲击响应信号

Figure 2 Force hammer impact force signal and acceleration impulse response signal

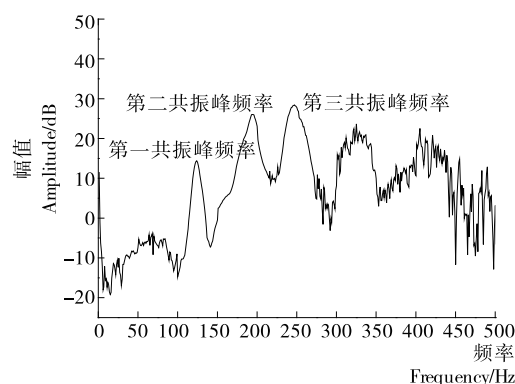


图3 西瓜的频率响应函数 FRF

Figure 3 Frequency response function(FRF) of watermelon

1.3.2 糖度检测 本研究通过破坏性试验测量西瓜的糖度。试验时,将西瓜沿着瓜蒂和瓜脐对半切开,将同一西瓜样本的瓜脐部位、瓜蒂部位和瓜中心部位的瓜瓢取出榨汁,利用折射仪测量样本的糖度,每个西瓜样本取3次进行测量,取平均值。折射仪使用前需要清洗清零,每次测量需用清水洗净擦干后再进行下次测量。

2 结果与分析

2.1 西瓜的频响信号特征提取

本研究选取频率响应函数的共振峰频率作为振动特征值,如图3所示,选取3个主要共振峰频率 f_1 、 f_2 和 f_3 。

2.2 试验因素的确定

2.2.1 不同材质锤头对频率响应函数的影响 本研究以早

佳 8424 西瓜样本为例,将加速度传感器固定在瓜脐位置,力锤敲击瓜蒂位置,冲击锤头选用铝、塑料、硬橡胶和软橡胶 4 种材质,采用单次敲击。图 4 表明,使用铝质锤头的频率响应函数在 250 Hz 之前的曲线更加平滑,出现了 4 个较平滑明显的共振峰,故试验采用铝质锤头。

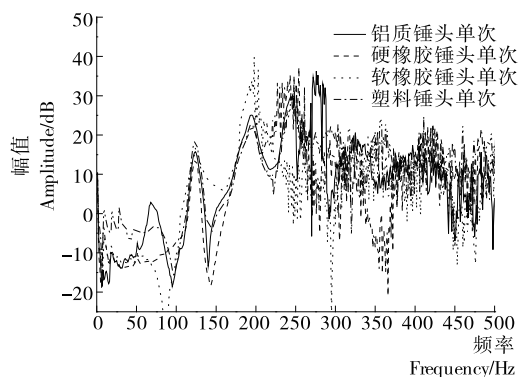


图 4 不同材质锤头的频率响应函数

Figure 4 The frequency response function of the different material hammer heads

采用铝质锤头敲击西瓜表面,在同一位置敲击 3 次。如图 5 所示,3 次频率响应函数的重合度非常高,表明系统的单次敲击稳定性较高,能够采集到稳定数据满足本研究的要求。

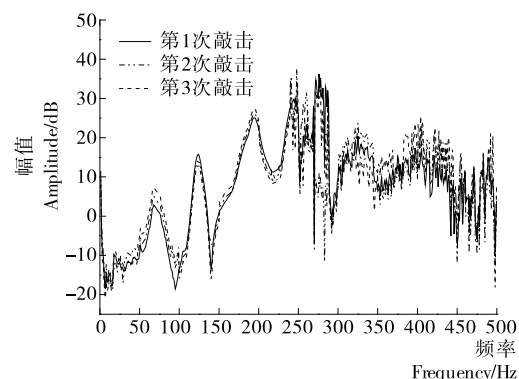


图 5 铝质锤头 3 次敲击的频率响应函数

Figure 5 The frequency response function of three strokes of aluminum hammer head

2.2.2 加权平均次数对频率响应函数的影响 以早佳 8424 西瓜样本为例,将加速度传感器固定在瓜脐位置,力锤敲击位置为瓜蒂位置,采用单次敲击。分别采用软橡胶、硬橡胶、塑料和铝质 4 种锤头敲击西瓜表面,得到 1 次敲击和 10 次敲击加权平均后的频率响应函数。如图 6~9 所示,不同锤头经过 10 次平均后,频响曲线相比单次平滑。可见多次平均后,信号中的噪声降低,信号平滑度更高。本试验采用的加权平均次数为 10 次。

2.2.3 敲击位置对频率响应函数的影响 以早佳 8424 西瓜样本为例,采用铝质锤头进行 10 次均匀、游动敲击,如图 10 所示,将加速度传感器固定于瓜脐处,冲击力锤在图中点 1~8 处逐一敲击,得到各点处的频响见图 11。图 11 中可见,A

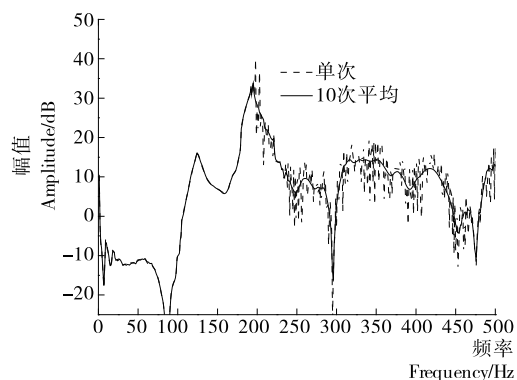


图 6 软橡胶锤头单次和 10 次平均的频率响应函数

Figure 6 The single and 10 average frequency response functions of soft rubber hammer

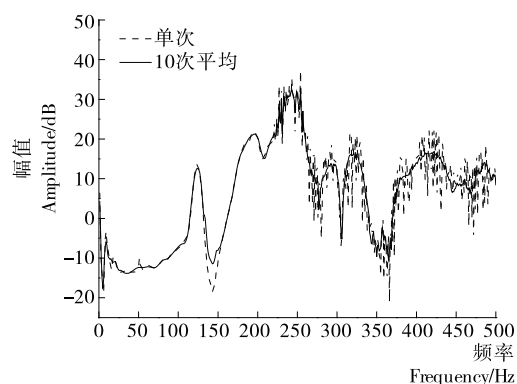


图 7 硬橡胶锤头单次和 10 次平均的频率响应函数

Figure 7 The single and 10 average frequency response functions of hard rubber hammer

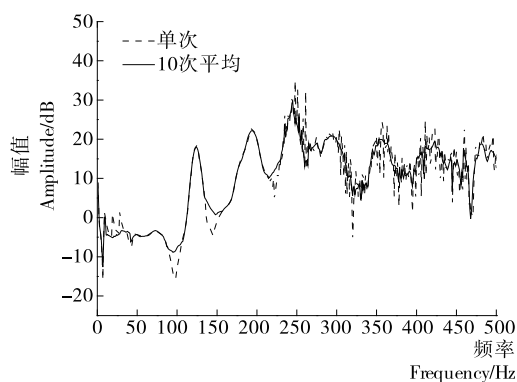


图 8 塑料锤头单次和 10 次平均的频率响应函数

Figure 8 The single and 10 average frequency response functions of plastic rubber hammer

处共振峰的幅值随各点大小不一,但是频率基本相同。B 处共振峰有部分明显平滑,其频率也基本相同,B 处后面的共振峰不明显,但共振峰处频率也有相同的趋势。由此可见,敲击位置对频响函数的幅值有影响,但是对频率的影响基本可以忽略。本试验将加速度传感器固定在瓜脐位置,力锤敲击位置为瓜蒂位置。

2.3 西瓜品种分类模型的建立

图 12 为不同品种西瓜样本的 3 个共振峰频率关系图,

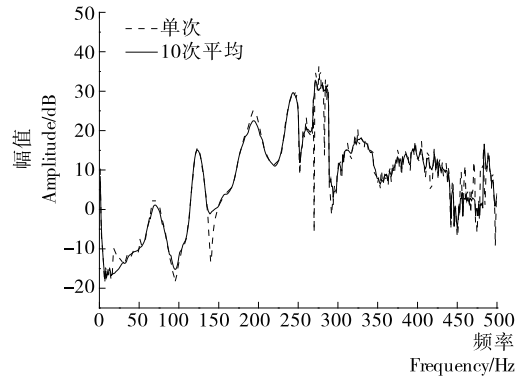


图 9 铝质锤头单次和 10 次平均的频率响应函数
Figure 9 The single and 10 average frequency response functions of aluminum rubber hammer

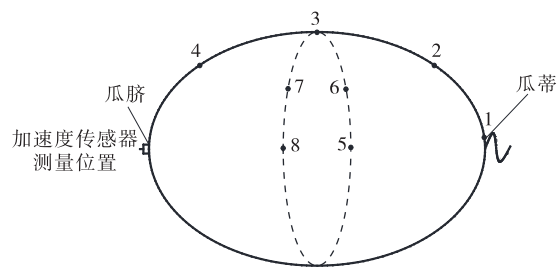


图 10 敲击-测点组合分布图
Figure 10 The distribution of percussion and measurement points

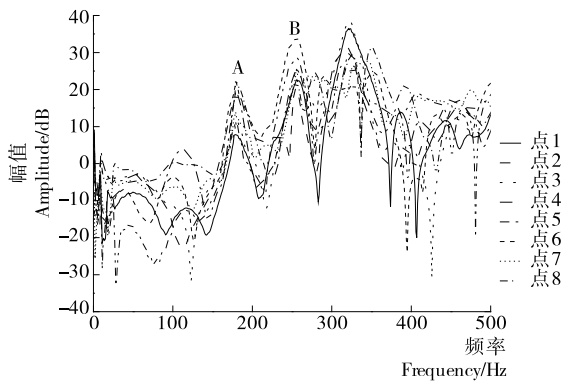


图 11 点 1~8 处逐一敲击的频率响应函数
Figure 11 The frequency response function of knocking the watermelons at 1~8

第 1 共振峰频率为 x 轴,第 2 共振峰频率为 y 轴,第 3 共振峰频率为 z 轴,可以看出,早佳 8424、京欣和皇冠样本的 3 个共振峰频率点的线性关系明显,并且明显分布在不同区域。但是硒砂样本的共振峰频率点分布没有其它 3 种西瓜明显,但是其频率点分布最低,并且有部分硒砂样本的频率点分布于京欣样本的频率点分布区域。

根据这一分布特点,利用 PNN 神经网络模型对该 4 种西瓜进行分类。分类变量分别为 1(早佳 8424)、2(京欣)、3(硒砂)、4(皇冠)。选取 3 个共振峰频率 f_1 、 f_2 、 f_3 作为 PNN 神经网络的输入,建立网络模型。每种西瓜样本取 20 个,共 80 个样本,其中每种西瓜取 10 个样本用于建立网络

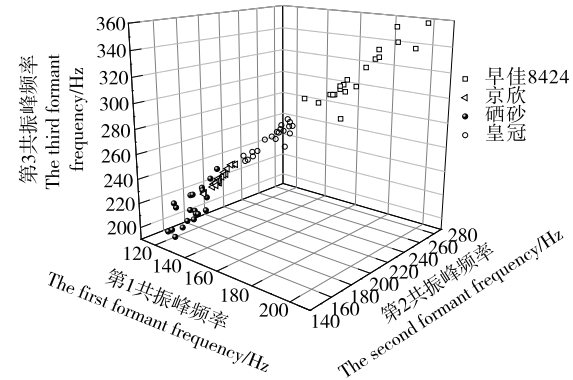


图 12 不同品种西瓜的第 1 共振峰频率、第 2 共振峰频率和第 3 共振峰频率关系图
Figure 12 The diagram of the first formant frequency, the second formant frequency and third formant frequency resonance peak frequency of different varieties of watermelon

模型,余下的样本用于预测。
该模型是通过 Matlab R2015a 建立的,首先将采集到的 3 个峰值频率输入,利用 40 个样本作为训练样本,得到西瓜品种识别的 PNN 网络模型,再用 40 个样本作为测试样本,进行网络性能检验,判断该网络能否用来对未知样本的类别进行预测。

由表 1 可知,京欣和皇冠样本的真实类别和预测类别完

表 1 PNN 神经网络模型对未知样本的判别结果

Table 1 The results of the PNN neural network model for unknown samples					
样本	真实类别	预测类别	样本	真实类别	预测类别
1	1	1	21	3	3
2	1	4	22	3	3
3	1	1	23	3	2
4	1	1	24	3	3
5	1	1	25	3	3
6	1	1	26	3	2
7	1	1	27	3	3
8	1	1	28	3	3
9	1	1	29	3	3
10	1	1	30	3	3
11	2	2	31	4	4
12	2	2	32	4	4
13	2	2	33	4	4
14	2	2	34	4	4
15	2	2	35	4	4
16	2	2	36	4	4
17	2	2	37	4	4
18	2	2	38	4	4
19	2	2	39	4	4
20	2	2	40	4	4

全一致,早佳 8424 样本中有 1 个被鉴别为皇冠,硒砂样本中有 2 个样本被鉴别为京欣,预测集的准确率为 92.5%,模型效果可以接受,说明采用声学振动技术可以解决不同品种西瓜的分类问题。

2.4 西瓜糖度预测模型的建立

王书茂等^[15]研究发现西瓜的第 1 阶固有频率与含糖量有较好的关系,还发现含糖量不同,瓜瓤的弹性模量变化较大。瓜瓤弹性模量的变化关系到西瓜的振动特性,瓜瓤的弹性模量变小,质量一定的西瓜固有频率必然降低^[15]。危艳君^[16]、浦宏杰^[10]等利用声学特征来建立糖度检测模型。声学检测技术应用于西瓜糖度检测^[17]等领域,西瓜品质的变化主要表现为含糖量等参数的变化^[18],含糖量是评价西瓜品质的最核心指标^[19]。因此,研究糖度和声学特征之间的相关关系,可以实现对不同含糖量西瓜的无损检测。

由于 4 种西瓜糖度预测模型建立的方法一致,故仅以早佳 8424 瓜为例进行建模,校正集 34 个。如图 13~15 所示,分别为早佳 8424 样本的 3 个主要共振峰频率 f_1 、 f_2 、 f_3 与糖度的关系图,表 2 为各共振峰频率与糖度建立线性模型,模型的确定系数 R^2 均偏低。

在自变量较多时,其中有的自变量可能对因变量的影响不是很大,而且 3 个共振峰频率之间可能不完全相互独立

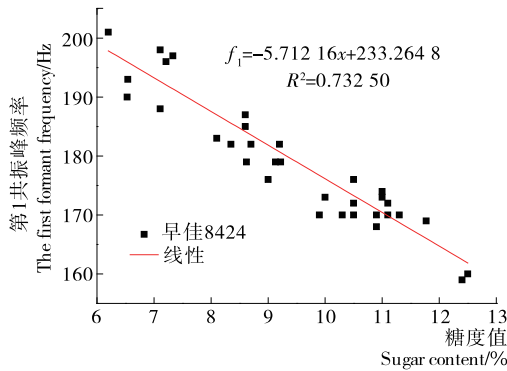


图 13 早佳 8424 样本的第 1 共振峰频率 f_1 与糖度的关系图

Figure 13 The relationship of the first peak frequency f_1 and the sugar degree of “Zaojia 8424” samples

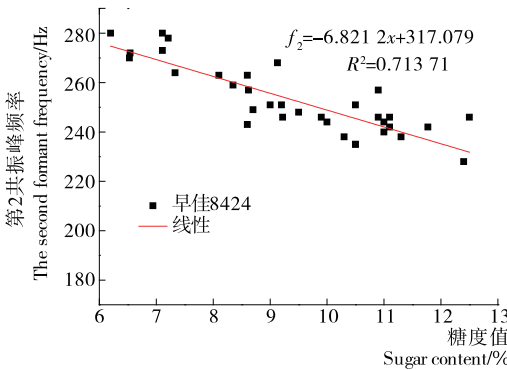


图 14 早佳 8424 样本的第 2 共振峰频率 f_2 与糖度的关系图

Figure 14 The relationship of the second peak frequency f_2 and the sugar degree of “Zaojia 8424” samples

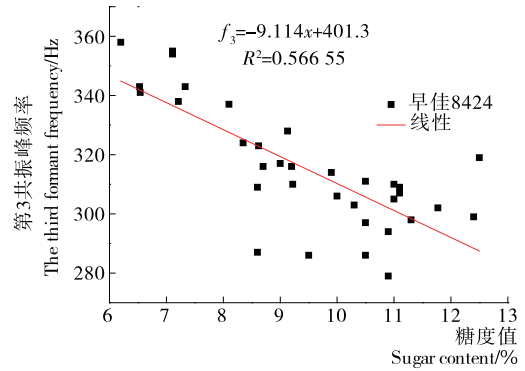


图 15 早佳 8424 样本的第 3 共振峰频率 f_3 与糖度的关系图

Figure 15 The relationship of the third peak frequency f_3 and the sugar degree of “Zaojia 8424” samples

表 2 早佳 8424 样本峰值频率与糖度之间的线性模型

Table 2 The linear model of the peak frequency and the sugar degree of “Zaojia 8424” samples

峰值频率 f	拟合方程	R^2
f_1	$f_1 = -5.712\ 16x + 233.264\ 8$	0.732 50
f_2	$f_2 = -6.821\ 2x + 317.079$	0.713 71
f_3	$f_3 = -9.114x + 401.3$	0.566 55

的。在这种情况下可用逐步多元线性回归分析,对 3 个共振峰频率进行筛选,以此建立的多元回归模型预测效果会更好。

统计数据计算使用软件 SPSS 21.0,在每一步,检验统计量 F 的概率小于设置值的自变量被进入,检验统计量 F 的概率大于设置值的自变量被移除,当没有更多的变量被纳入或移除的时候逐步多元线性回归就结束了。如表 3 所示,为早佳 8424 样本糖度预测模型, T 表示样本糖度,模型的确定系数依次升高,标准估计的误差依次降低,因此,选用模型:

$$T = -0.079 \times f_1 - 0.022 \times f_2 - 0.032 \times f_3 + 38.528. \quad (1)$$

其它品种西瓜的糖度预测模型建立的过程与早佳 8424 样本模型的一致,并且模型的确定系数均在 0.86 以上,预测模型见表 4。陈春雷等^[20]研究发现不同品种西瓜的皮厚、中糖、边糖、外观和风味等参数特征有所差异。并且不同品种西瓜果实的瓢色不同^[21]。王书茂等^[15]研究发现含糖量和瓜瓢不同,振动特性不同。因此各品种西瓜的振动频率和固有

表 3 早佳 8424 样本糖度预测模型

Table 3 Sugar prediction model of “Zaojia 8424” samples

峰值频率 f	拟合方程	R^2	标准估计的误差
f_1	$T = -0.13 \times f_1 + 32.691$	0.741	0.900 17
f_1, f_2	$T = -0.095 \times f_1 - 0.034 \times f_2 + 37.175$	0.852	0.690 80
f_1, f_2, f_3	$T = -0.079 \times f_1 - 0.022 \times f_2 - 0.032 \times f_3 + 38.525$	0.867	0.664 49

表4 西瓜糖度预测模型
Table 4 Sugar prediction model of watermelon

品种	拟合方程
京欣	$T = -0.12 \times f_1 + 0.576 \times f_2 + 0.158 \times f_3 + 0.610$
硒砂	$T = 0.01 \times f_1 + 0.034 \times f_3 + 2.305$
麒麟	$T = 0.322 \times f_1 - 0.227 \times f_2 - 0.026 \times f_3 + 16.261$
早佳 8424	$T = -0.079 \times f_1 - 0.022 \times f_2 - 0.032 \times f_3 + 38.525$

频率会受到影响,糖度预测模型有所差异。当有其它品种西瓜时,利用上述方法建模,增加相应的模型,检测时便可以根据该品种的模型先鉴别后检测。

2.5 预测模型的验证及误差分析

利用分类模型鉴别出的 10 个早佳 8424 瓜作为预测集,其中 9 个为早佳 8424 瓜,1 个为皇冠瓜。图 16 为早佳 8424 样本的预测糖度与实际糖度关系图,其中实际糖度为 10%、预测糖度为 12.279% 的坐标点为误判的皇冠样本预测糖度与实际糖度关系点,剔除该点后,对余下的样本建立线性回归模型,模型确定系数为 0.859 96,标准估计的误差为 0.631 81。可见,该糖度预测模型可以用来对西瓜糖度进行预测。表 5 为早佳 8424 预测集样本的实际糖度值与预测糖度值的比较及误差研究,2 号样本为误判的皇冠样本,剔除皇冠样本后,9 个预测集样本平均误差为 6.1%,预测集样本的标准差(RMSEP)为 1.08,没有剔除皇冠样本的 10 个预测集样本平均误差为 7.56%,预测集样本的标准差(RMSEP)为 1.60,并且对于误判的皇冠样本,其相对误差达到 20.72%。校正集样本的标准差(RMSEC)为 0.986。对于其中 9 个品种鉴别准确的瓜,其糖度测量误差小于 7%;而对于品种鉴别错误的瓜,由于模型选用了错误预测模型,测量误差较大,可见,对未知市售西瓜先鉴别后测量糖度是非常重要的。

3 结论

本研究自行搭建的振动检测系统完成基于振动特性的西瓜品种鉴别以及西瓜糖度预测研究。通过试验分析皇冠、早佳 8424、京欣和硒砂 4 个西瓜品种频率响应函数的 3 个主要共振峰频率,发现 4 种西瓜样本的频率点分布区域明显不同,利用PNN神经网络可有效地对不同品种西瓜进行鉴别。

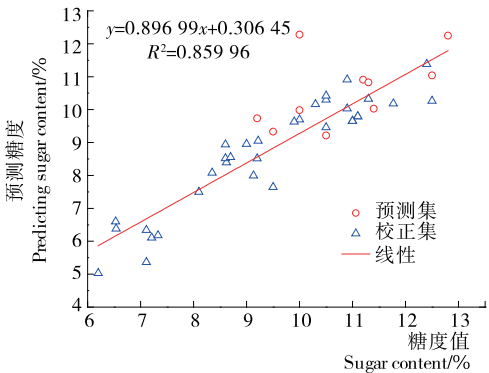


图 16 早佳 8424 样本的实际糖度与预测糖度关系图
Figure 16 The diagram of the actual sugar degree and predicted sugar degree of “Zaojia 8424” samples

表5 早佳 8424 样本实际糖度值与预测糖度值的比较及误差

Table 5 The comparison of actual sugar degree and predicted sugar degree of “Zaojia 8424” samples

样本	实际 测量值	模型 测量值	相对 误差/%	剔除皇冠瓜样本 后的平均误差/%
1	12.50	11.039	11.69	6.1
2	10.00	12.279	20.72	
3	12.80	12.247	4.32	
4	9.20	9.734	5.80	
5	11.20	10.028	2.60	
6	11.40	9.220	12.04	
7	11.30	10.827	4.19	
8	10.50	9.213	12.26	
9	9.50	9.327	1.82	
10	10.00	9.983	0.17	

同时,在此基础上研究 4 种西瓜的糖度预测模型,以本地早佳 8424 样本为例,分别建立 3 个主要共振峰频率与糖度的线性模型,模型的确定系数 R^2 分别为 0.732 50,0.713 70,0.566 55,相关性均较低。这种情况下采用逐步多元线性回归分析,对每种西瓜的 3 个共振峰频率进行筛选,得到相应糖度预测模型的确定系数均大于 0.86。经验证,该模型可以用来对西瓜糖度进行预测。对预测集样本先鉴别品种再预测糖度,对品种鉴别准确的瓜,其糖度测量误差较小,而对品种鉴别错误的瓜,测量误差较大,由此可知,先鉴别西瓜的品种,进而选取相应模型测量糖度是非常重要的。

参考文献

[1] 王琛,张琳,赵姜,等. 中国西瓜市场形势分析与展望[J]. 农业展望, 2013, 9(4): 27-30.

[2] 吕飞玲. 基于声学特性的西瓜品质无损检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003: 10.

[3] NOURAIN Jamal, YING Yi-bin, WANG Jian-ping, et al. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis[J]. Journal of Zhejiang University Science, 2005(6): 483-490.

[4] ABBASZADEH R, RAJABIPOUR A, DELSHAD M, et al. E-valuation of watermelons texture using their vibration responses[J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(1): 102-105.

[5] ABBASZADEH R, RAJABIPOUR A, AHMADI H, et al. Prediction of watermelon quality based on vibration spectrum[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 291-293.

[6] MAO Jian-hua, YU Yong-hua, RAO Xiu-qin, et al. Firmness prediction and modeling by optimizing acoustic device for watermelons[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 168: 1-6.

[7] TANIWAKI M, TOHRO M, SAKURAI N. Measurement of ripening speed and determination of the optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(1): 101-103.

(下转第 179 页)

参考文献

- [1] FINKELSTEIN J D. Methionine metabolism in mammals[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 1990, 1(5): 228-237.
- [2] ALIM A B, LEGROS L, GELLER A, et al. Expression and functional interaction of the catalytic and regulatory subunits of human methionine adenosyltransferase in mammalian cells[J]. Journal of Biological Chemistry, 1999, 274(42): 29 720-29 725.
- [3] GOLL M G, BESTOR T H. Eukaryotic cytosine methyltransferases[J]. Annual Review of Biochemistry, 2005, 74(74): 481-514.
- [4] MILOVANOVIC P, HRNCIC D, RADOTIC K, et al. Moderate hyperhomocysteinemia induced by short-term dietary methionine overload alters bone microarchitecture and collagen features during growth[J]. Life Sciences, 2017, 191(10): 9-16.
- [5] TANG Shuang, FANG Yi, HUANG Gang, et al. Methionine metabolism is essential for SIRT1-regulated mouse embryonic stem cell maintenance and embryonic development[J]. EMBO Journal, 2017, 36(21): 3 175-3 193.
- [6] LATIMER M N, CLEVELAND B M, BIGA P R. Dietary methionine restriction: Effects on glucose tolerance, lipid content and micro-RNA composition in the muscle of rainbow trout[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 2017, 36(10): 2 323-2 335.
- [7] DUAN Xiao-yu, LIN Ye, LV He, et al. Methionine induces LAT1 expression in dairy cow mammary gland by activating the mTORC1 signaling pathway[J]. DNA and Cell Biology, 2017, 36(12): 1-8.
- [8] ZHANG Ya-lin, WANG Peng, LIN Seng, et al. mTORC1 signaling-associated protein synthesis in porcine mammary glands was regulated by the local available methionine depending on methionine sources[J]. Amino Acids, 2017(10): 1-11.
- [9] BRUNNER M A T, JAGANNATHAN V, WALUK D P, et al. Novel insights into the pathways regulating the canine hair cycle and their deregulation in alopecia X[J]. Plos One, 2017, 12(10): e0186 469.
- [10] PURBA T S, BRUNKEN L, PEAKE M, et al. Characterisation of cell cycle arrest and terminal differentiation in a maximally proliferative human epithelial tissue: Lessons from the human hair follicle matrix [J]. European Journal of Cell Biology, 2017, 96(6): 632-641.
- [11] PI Long-qun, LEE Woo-soo, MIN Sung-hee. Hot water extract of oriental melon leaf promotes hair growth and prolongs anagen hair cycle: in vivo and in vitro evaluation[J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(2): 575-580.
- [12] ZHANG Hai-hua, JIANG Qing-kui, SUN Wei-li, et al. Effects of different dietary protein levels and DL-methionine supplementation on hair growth and pelt quality in mink (*Neovision vision*) [J]. Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition, 2013, 97(6): 1 036-1 042.
- [13] MIOUSSE I R, PATHAK R, GARG S, et al. Short-term dietary methionine supplementation affects one-carbon metabolism and DNA methylation in the mouse gut and leads to altered microbiome profiles, barrier function, gene expression and histomorphology[J]. Genes & Nutrition, 2017, 12(1): 22.
- [14] SANCHEZ-ROMAN I, GÓMEZ A, PÉREZ I, et al. Effects of aging and methionine restriction applied at old age on ROS generation and oxidative damage in rat liver mitochondria [J]. Biogerontology, 2012, 13(4): 399-411.
- [15] ERIKSSON S, PRIGGE J R, TALAGO E A, et al. Dietary methionine can sustain cytosolic redox homeostasis in the mouse liver[J]. Nature Communications, 2015(6): 6 479.
- [16] COOKE D, OUATTARA A, ABLES G P. Dietary methionine restriction modulates renal response and attenuates kidney injury in mice [J]. FASEB Journal, 2017, DOI: 10.1096/fj.201700419R.
- [17] SOARES M S P, OLIVEIRA P S, DEBOM G N, et al. Chronic administration of methionine and/or methionine sulfoxide alters oxidative stress parameters and ALA-D activity in liver and kidney of young rats[J]. Amino Acids, 2017, 49(1): 129-138.
- [18] 陈华, 李春海, 贺苏兰, 等. 性别因素对大鼠部分血液学、血液生化指标和脏器系数的影响[J]. 实验动物科学, 1996(1): 21-23.
- [14] 屠康, 马龙, 潘秀娟. 敲击振动无损检测 3 种梨果实品质参数的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005(1): 50-53.
- [15] 王书茂, 焦群英, 籍俊杰. 西瓜成熟度无损检验的冲击振动方法[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 241-245.
- [16] 危艳君, 饶秀勤, 漆兵. 基于声学特性的西瓜糖度检测系统[J]. 农业工程报, 2012, 28(3): 283-287.
- [17] 汪迪松, 浦宏杰, 李臻峰, 等. 基于声振法的西瓜内部糖度检测研究[J]. 上海农业报, 2017, 33(2): 125-130.
- [18] 赵洪卫, 韩东海, 宋曙辉, 等. 小型西瓜果实成熟度表征因子筛选[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 281-286.
- [19] 任毅. 西瓜果实含糖量 QTL 定位及糖转运蛋白基因功能初析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016: 6.
- [20] 孙菊华, 陈春雷, 陈建才. 甜瓜品比试验简报[J]. 上海农业科技, 2011(1): 50-51.
- [21] 朱迎春, 刘君璞, 邓云, 等. 河南地区中、小果型西瓜品种比较试验[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(12): 51-54.

(上接第 145 页)

- [8] TANIWAKI M, TAKAHASHI M, SAKURAI N. Determination of optimum ripeness for edibility of postharvest melons using nondestructive vibration[J]. Food Research International, 2009, 42(1): 137-141.
- [9] 方汉良, 任志英, 郑志强, 等. 西瓜成熟度测试仪设计研究[J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2015, 31(12): 53-54.
- [10] 浦宏杰, 汪迪松, 李臻峰. 基于振动频谱子带质心的西瓜内部品质检测[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 281-288.
- [11] 陆勇, 李臻峰, 浦宏杰, 等. 基于声振法的西瓜贮藏时间检测[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(4): 682-687.
- [12] 高宗梅, 张文, 任梦佳, 等. 西瓜品质 LDV 测振响应影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(S1): 134-140.
- [13] 魏巍. 西瓜振动特性及振动对其品质影响研究[D]. 呼和浩特市: 内蒙古农业大学, 2015: 24-32.