

电激励信号对果品电参数的影响^{*}

朱新华, 郭文川, 郭康权

(西北农林科技大学 机械与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 研究了电激励信号的频率和电压对苹果、猕猴桃和梨电参数的影响。结果表明, 随着电激励信号频率的增大, 果品的电容、电阻以及损耗角正切值均减小; 当信号电压小于电压临界值时, 果品的各项电参数值基本保持不变, 但当信号电压大于该临界值时, 随着电压的增大, 果品的电容和电阻值减小, 损耗角正切急剧增大。不同果品的电压临界值不同, 10 kHz 信号频率下, 苹果、猕猴桃和梨的电压临界值分别为 0.8、1.8 和 1.4 V。

[关键词] 电激励信号; 信号频率; 信号电压; 果品电参数

[中图分类号] S121; S601

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)11-0125-04

随着生活水平的提高, 人们对果品品质提出了更高的要求, 果品分级技术和品质鉴定技术已成为国内外学者的主要研究领域。目前, 果品的检测方法大致可分为近红外分析法、声学特性分析法、X 射线分析法、计算机图像检测法、可见光成熟度分析法、激光分析法以及电、磁特性检测法等^[1], 其中电特性检测法是近几年发展的高新技术之一。这是因为果品的生物组织可以看作电介质, 在外电场的作用下, 电介质呈现一定的介电参数值。电特性检测法是通过果品在电场中电参数值的变化分析和判断果品品质的一种方法。影响果品电参数值的因素很多, 例如果品的种类、品种、成熟度、新鲜度、环境温度、湿度以及测试中选用电信号的频率和电压等, 其中, 电激励信号的频率和电压是最主要的影响因素。本研究以新鲜苹果、猕猴桃和梨为研究对象, 采用无损

接触检测方法研究了相同环境条件下, 电激励信号的频率和电压对果品电参数值的影响, 以期果品品质的电特性检测法提供参数。

1 生物体的电特性

1.1 植物组织的等效电路模型

按照物体是否导电, 可将其分为导体和绝缘体。导体具有电阻的性质, 而绝缘体具有电容的性质。植物组织由细胞组成, 细胞又由细胞内液、细胞外液和细胞膜组成^[2]。由于细胞内液和细胞外液具有一定的导电性, 因此, 细胞内液和细胞外液具有电阻的性质。而细胞膜的绝缘性较高, 阻隔着膜两侧某些离子的扩散, 因此, 膜除了具有电容性质外还具有电阻性质。据此可以将植物组织等效为由电阻和电容串联或并联构成的电路模型^[3](图 1)。

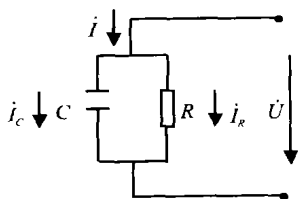


图 1 植物组织并联等效电路图

Fig. 1 Parallel equivalent circuit of plant's tissues

1.2 植物组织的交流电特性

如果在图 1 所示的并联等效电路的两端施加交流电压 U , 则电阻 R 和电容器 C 支路上便流过电流。流过电阻的电流 I_R 与所施加电压 U 同相位, 转

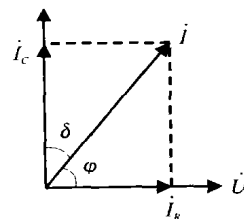


图 2 并联电路的电流相量图

Fig. 2 Current phase of parallel circuit

化为热能, 电容器支路的电流 I_C 与所施加电压 U 有 90 的相位差, 以电场能的形式储存起来, 如图 2 所示。流过生物体的全部电流 I 是 I_R 和 I_C 的矢量和, 即 $I = I_R + I_C$ 。图 2 中 φ 为相位角, $\cos \varphi$ 为功率因

* [收稿日期] 2004-03-05

[作者简介] 朱新华(1967-), 男, 陕西城固人, 讲师, 主要从事农产品加工研究。

数, δ 为损耗角。由图 2 可知: $\tan \delta = I_R / I_C = 1/(\omega CR)$, 是所消耗的能量与所蓄积的能量之比, 称为介质损耗角正切, 简称损耗角正切^[3,4]。

1.3 表征果品电特性的物理量

表征果品电特性的物理量可分为物体常数和物质常数。其中, 物体常数是指与被测对象的大小、外形等因素相关的量, 例如电容 C 、电阻 R 等; 而物质常数与被测对象的物理尺寸等无关, 例如相对介电常数 ϵ' 、电阻率 ρ 和电导率 σ 等。由于生物体兼有电阻和电容两种特性, 因此常用物体常数——复阻抗 Z^* 或复电容 C^* 和物质常数——复数相对介电常数 ϵ^* 表示生物体的电特性^[5,6]。

即

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

式中, ϵ' 为相对介电常数; ϵ'' 为相对介电常数的虚部, 表示损耗, 也称介质损耗因数。理论上

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad (2)$$

2 试验方法

2.1 试验系统

试验系统由 LCR 电桥测量仪和圆形平板电极组成, 如图 3 所示。LCR 电桥测量仪内置信号发生器, 输出频率为 0.02~150 kHz, 输出信号电压为 0.05~2.55 V, 可测试电容、电阻、等效阻抗、损耗角正切等。测试电极板为厚 0.3 mm, 直径 30 mm 的圆板电极。为了减少外界电信号的干扰, 导线为屏蔽线, 测试部分放于 300 mm × 300 mm × 250 mm 的屏蔽箱内。

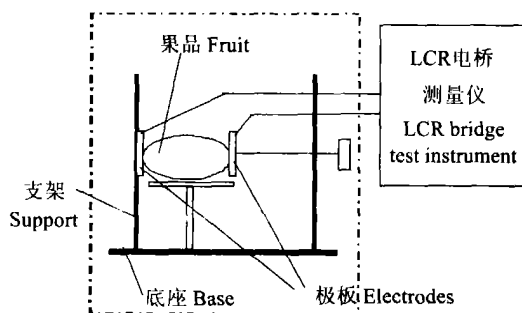


图 3 测试系统示意图

Fig 3 Schematic drawing of test system

2.2 试验方法

选取形状规则、无损伤的新鲜苹果（红富士）、猕猴桃（秦美）和梨（酥梨）等 3 种果品进行试验。分别测试电压为 1 V 时, 在 4~100 kHz 频段内, 频率对各种果品电参数值的影响; 当频率为 10 kHz 时, 在 0.2~2.4 V 内电压对各种果品电参数值的影响。选取物体常数——电容 C 、电阻 R 和损耗角正切 $\tan \delta$ 反映电信号对果品电参数值的影响。试验中, 要保证果品与极板可靠接触, 并标记测试处。对同一样品在同一测试处重复测试 3 次, 取样品的平均值进行比较。

3 结果与分析

3.1 电激励信号频率对电参数的影响

在室温 21℃, 湿度 72%, 电压 1 V 时, 频率对红富士苹果、秦美猕猴桃和酥梨的电容、电阻和损耗角正切的影响规律如图 4 所示。

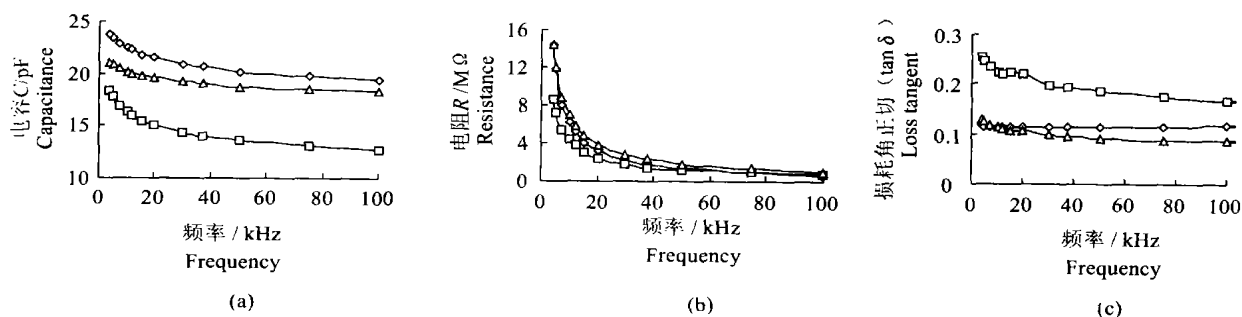


图 4 频率对果品电参数的影响

- - - 苹果; - □ - 猕猴桃; - - - 梨

Fig 4 The influence of frequency on electric parameters of fruits

- - - Apple; - □ - Kiwifruit; - - - Pear

由图 4(a) 可以看出, 电容随信号频率的增大而减小。这是由于果品中的主要组成部分是水, 水是极性分子。当在极性分子上施加交流电压时, 偶极子会

伴随电场的转动而取向, 随着频率的增高, 偶极子赶不上电场的变化, 取向产生时间延迟。延迟所消耗的能量与图 2 中电阻所消耗的热能是等效的。极化的

减小表现在 I_c 值减小和电容(或 ϵ) 减小, 这种随频率增大而电容(或 ϵ) 减小的变化即为耗散^[4]。

由图 4(b) 可见, 随着频率的增大, 电阻值也在减小。这是由细胞组织的不均匀引起的。细胞膜的电阻和电容量很大, 使得在低频情况下电流只在细胞外液流过, 因此, 电阻非常大; 随着频率增高, 细胞膜(细胞壁)间的电容量增大, 细胞内液中也有电流流过, 使电阻明显减小。组织不均匀引起的变化称之为构造耗散(即 β 耗散)^[5]。

由图 4(c) 可见, 随着频率的增加, 各果品损耗角正切的变化趋势有所差异, 苹果的损耗角正切变化很小, 且有很小程度的增加; 梨的损耗角正切一直呈下降趋势, 而猕猴桃的损耗角正切虽呈下降趋势, 但在 12~30 kHz 时出现增大现象。

3.2 电激励信号电压对电参数的影响

图 5 为室温 15℃, 湿度 70%, 信号频率 10 kHz 时, 电压对 3 种果品的电容、电阻和损耗角正切的影响。

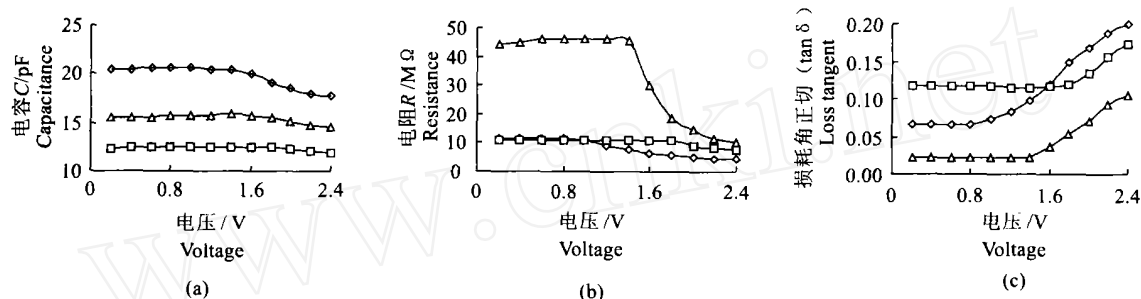


图 5 电压对果品电参数的影响

- - - 苹果; - □ - 猕猴桃; - · - 梨

Fig 5 The influence of voltage on electric parameters of fruits

- - - Apple; - □ - Kiwifruit; - · - Pear

图 5 表明, 当信号电压小于某一值时, 果品的各项电参数值基本保持不变, 而当大于该值时, 随电压的增大电容缓慢下降, 电阻迅速下降, 损耗角正切急剧增大。本文定义该电压值为电压临界值。

由细胞膜电位的离子学说基础^[3]可知, 细胞膜是一种具有离子通道的半透性膜。镶嵌在膜上的通道蛋白质是细胞内部与外界环境间联系的通道, 为荷电离子或分子提供特殊通道。部分通道常处于开放状态, 离子能随时出入, 不受外因控制, 但部分通道只有在电压、化学和机械力等外因诱导下, 才处于开放状态, 一般均呈关闭状态。因此, 离子通道按导电特性有开放和关闭之分。通道蛋白质的开放与关闭称为门控。故膜上通道有被动非门控与主动门控两类, 前者总是处于开放状态, 后者可开可闭, 其开放的概率与外界诱因有关。因而, 给苹果施加电激励信号是一个外因的诱导因素。当电激励信号的电压小于某一值时, 不能使主动门控开放, 因此, 宏观上, 苹果各电参数值基本不变。而当电压大于该值时, 主动门控开放, 细胞内外液之间的部分离子通道开放, 使细胞膜透性增加, 导致电解质外渗, 使质外体的导电性增强, 电阻急剧减小, 而细胞膜内电解液的外渗, 又使膜间的导电性变差, 电容明显减小。电阻的减小使流过电阻的电流明显增大, 从而使能量的损

耗急剧增大。电压临界值的存在可以认为, 细胞具有一定的电压承受能力。

随着电压的变化, 3 种果品电参数的变化规律一致, 说明电压对生物体具有相同影响, 但临界值存在差异。当信号频率为 10 kHz 时, 苹果、猕猴桃和梨的电压临界值分别为 0.8, 1.8 和 1.4 V。

4 结 论

本研究结果表明: (1) 电激励信号的频率和电压对果品电参数值具有明显的影响, 即随着信号频率的增大, 果品的电容 C 、电阻 R 以及损耗角正切减小, 但变化速率存在差异。(2) 3 种果品电参数随电压的变化存在电压临界值。当电压小于该临界值时, 电容、电阻和损耗角正切基本不变, 大于该临界值时, 电容和电阻减小而损耗角正切急剧增大。10 kHz 时, 苹果、猕猴桃和梨的电压临界值分别为 0.8, 1.8 和 1.4 V。同频率下, 不同果品电压临界值的差异, 为依据电参数识别水果种类奠定了基础。(3) 信号频率和电压是影响果品电参数值的主要因素。只有在相同的频率和电压下才能依据电参数值的差异对果品进行鉴别。电压对果品电参数的影响以及电压临界值的存在是本研究的主要发现。

[参考文献]

- [1] 郭文川, 郭康权, 朱新华. 果品内在品质无损检测技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 1- 5
- [2] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] 孙一源, 余登苑. 农业生物力学与农业生物电磁学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [4] 李里特. 食物物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [5] 董怡为. 食品的电特性及其应用(1)——基础理论[J]. 食品科学, 1995, 16(4): 6- 10
- [6] 李辑熙, 牛中奇. 生物电磁学概论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990

Influence of electric excitation signal on electric parameters of fruits

ZHU Xin-hua, GUO Wen-chuan, GUO Kang-quan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The influence of frequency and voltage of electric excitation signal on electric parameters of apple, kiwifruit and pear are studied in this paper. The test results indicate that with the increase of frequency, the capacitance, resistance and loss tangent decrease. When the voltage of signal is less than critical voltage value, each electric parameter keeps constant, while capacitance and resistance decrease and loss tangent increases sharply with increase of voltage when the voltage is bigger than the critical voltage value. The critical voltage value is different in different fruits. Under 10 kHz, the value is 0.8, 1.8 and 1.4 V for apple, kiwifruit and pear respectively.

Key words: excitation signal; frequency of signal; voltage of signal; electric parameters of fruits