

# 基于介电特性的猕猴桃和桃果实品种识别研究

唐 燕, 张继澍\*

(西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 以秦美猕猴桃、海沃德猕猴桃、秦光 2 号油桃和秦王桃为研究对象, 探讨利用果实电学特性进行种类品种识别实验的可行性, 测定果实采收当日在电激频率 0.1kHz~5MHz 范围内 24 个频率下的 7 个电参数(复阻抗  $Z$ 、并联等效电感  $L_p$ 、损耗系数  $D$ 、阻抗相角  $\theta$ 、串联等效电阻  $R_s$ 、电导  $G$ 、并联等效电容  $C_p$ )变化。结果表明: 猕猴桃和桃果实的  $\lg Z$  和  $\lg L_p$  与  $\lg f$  均有很好的线性关系,  $R^2$  大于 0.95。在 100Hz~1.58kHz 的电激励频率范围内, 可用  $D$  值来区分猕猴桃和桃果实。在 100Hz~6.31kHz 的频率范围内, 可用  $\theta$  值和  $R_s$  值区分猕猴桃和桃果实。在 100Hz~100kHz 的频率范围内, 可用  $G$  值来区分猕猴桃和桃果实。在 15.8~100kHz 频率范围内, 可用  $Z$  来区分海沃德猕猴桃、秦美猕猴桃、秦王桃、秦光 2 号油桃果实。在 100Hz~158kHz 频率范围内, 可用  $C_p$  来区分猕猴桃和桃两个种类及不同品种果实。

**关键词:** 猕猴桃; 桃; 电特性; 敏感电参数

## Identification of Kiwifruit and Peach Varieties Based on Dielectric Properties

TANG Yan, ZHANG Ji-shu\*

(College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract** In this study, two kiwifruit cultivars, Qinmei and Hayward, and two peach cultivars, Qinguang No. 2 and Qinwang were used to explore the feasibility of distinguishing different fruit varieties based on electrical properties (complex impedance  $Z$ , parallel equivalent inductance  $L_p$ , loss coefficient  $D$ , impedance phase angle  $\theta$ , equivalent series resistance  $R_s$ , conductivity  $G$  and parallel equivalent capacitance  $C_p$ ). The results showed that a good linearity was found for the  $\lg Z$ - $\lg f$  and  $\lg L_p$ - $\lg f$  relationships of kiwifruit and peach with  $R^2 > 0.95$ . Kiwifruit and peach could be distinguished by  $D$  value in the exciting frequency range of 100 Hz—1.58 kHz, by  $\theta$  and  $R_s$  values in the range of 100 Hz—6.31 kHz, and by  $G$  value in the range of 100 Hz—100 kHz. Hayward, Qinmei, Qinwang and Qinguang No. 2 were distinguished by  $Z$  value in the range of 15.8—100 kHz and by  $C_p$  in the range of 100 Hz—158 kHz.

**Key words:** kiwifruit; peach; electric property; sensitive electrical parameters

中图分类号: S183

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)03-0001-04

水果作为生物体由生物组织构成, 从微观结构角度观察, 其内部存在无数个带点粒子形成生物电场, 水果在其生长、成熟、受损及腐败变质过程中的生物化学反应将伴随物质和能量的转换, 导致生物组织内各类化学物质所带电荷量及电荷的空间分布的变化, 生物电场的分布和强度, 从宏观上影响水果的电特性。因而果实的介电特性与其结构、组成成分和品质等存在必然的联系。

秦美猕猴桃是陕西省猕猴桃生产的主栽品种, 海沃德猕猴桃是世界上最主要的品种, 也是在陕西正在示范

推广的品种。秦光 2 号油桃是京玉×兴津油桃育成的晚熟油桃新品种<sup>[1]</sup>。秦王桃是通过大久保桃实生选种, 选育出晚熟耐贮运桃新品种<sup>[2]</sup>。

果实介电特性研究起步较晚, 国外从 20 世纪 60 年代开始, 国内从 20 世纪 90 年代开始对果品电学特性进行了研究。近些年国内开展相关研究不断的增多。有关于果品种类识别的研究<sup>[3-4]</sup>, 有果实成熟度<sup>[5]</sup>、损伤<sup>[6-7]</sup>及病果<sup>[8-9]</sup>对电特性影响的研究, 还有果实电特性和生理特性<sup>[10]</sup>或品质特性<sup>[11]</sup>关系的研究。郭文川等<sup>[4]</sup>利用电特性开展了番茄和苹果品种识别的研究, 但研究的电参数种类

收稿日期: 2011-01-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(30471001)

作者简介: 唐燕(1977—), 女, 讲师, 博士, 主要从事果实采后生理和无损检测研究。E-mail: tangyanyan418@163.com

\* 通信作者: 张继澍(1941—), 男, 教授, 本科, 主要从事采后果实衰老机理及其调控研究。

E-mail: jishu@nwsuaf.edu.cn

少(仅电容和损耗角正切)。关于不同猕猴桃品种和不同桃品种之间用电特性进行识别的研究未见报道。本研究以陕西有代表性的猕猴桃(秦美和海沃德猕猴桃)和具有良好发展前景的两种桃(秦光2号和秦王桃)为研究对象,测定了果实采收当日在电激频率0.1kHz~5MHz范围内24个频率下的7个电参数(复阻抗 $Z$ 、并联等效电感 $L_p$ 、损耗系数 $D$ 、阻抗相角 $\theta$ 、串联等效电阻 $R_s$ 、电导 $G$ 、并联等效电容 $C_p$ )变化,旨在为利用果实电特性进行果实种类品种识别提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

猕猴桃品种: 秦美(*Actinidia deliciosa* cv. Qinmei)、海沃德(*Actinidia deliciosa* cv. Hayward); 桃品种: 秦光2号(*Prunus persica* var. Qinguang 2)油桃、秦王(*P. persica*.Qinwang)桃均采自陕西省杨凌农业高新示范区一管理良好的示范果园。秦美、海沃德猕猴桃及秦光2号油桃、秦王桃的果实果肉硬度分别8.65、6.26、9.38、8.92kg/cm<sup>2</sup>; 可溶性固形物含量分别为7.3%、6.2%、12.5%、13.4%。

### 1.2 电学指标测定

实验采用平行板电极系统在线无损检测, 测试仪器为日本日置3532-50 LCR测试仪, 测试频率范围42Hz~5MHz, 实测频率24个点(100Hz、158Hz、251Hz、398Hz、631Hz、1kHz、1.58kHz、2.51kHz、3.98kHz、6.31kHz、10kHz、15.8kHz、25.1kHz、39.8kHz、63.1kHz、100kHz、158kHz、251kHz、398kHz、631kHz、1MHz、1.58MHz、2.51MHz、3.98MHz)。测试装置与条件同参考文献[8]。不同品种果实各随机取20个, 每个果实重复测定3次, 测定复阻抗( $Z$ )、并联等效电容( $C_p$ )、并联等效电感( $L_p$ )、损耗系数( $D$ )、电导( $G$ )、阻抗相角( $\theta$ )、串联等效电阻( $R_s$ )的变化。

### 1.3 数据处理

实验数据采用SPSS统计数据软件处理,  $t$  检验法( $\alpha=0.05$ )对相关指标进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 猕猴桃和桃果实电参数复阻抗( $Z$ )和并联等效电感( $L_p$ )的变化

猕猴桃和桃的主要组成部分是水(含水率在80%以上), 水是极性分子, 在极性分子上施加交流电压时, 偶极子就会伴随电场的转动而发生取向变化。随着频率的升高, 偶极子赶不上电场的变化, 取向就产生时间延迟。延迟所消耗的能量与电阻所消耗的热能是等效的。极化的减小表现在 $Z$ 随频率的增大而减小。

由于猕猴桃和桃果实电参数 $Z$ 和 $L_p$ 随频率呈三次函数下降的规律变化, 数值随频率变幅太大。为了便于观察不同种类果实的电参数差异, 将果实的 $Z$ 、 $L_p$ 值和频率分别取对数后作图。

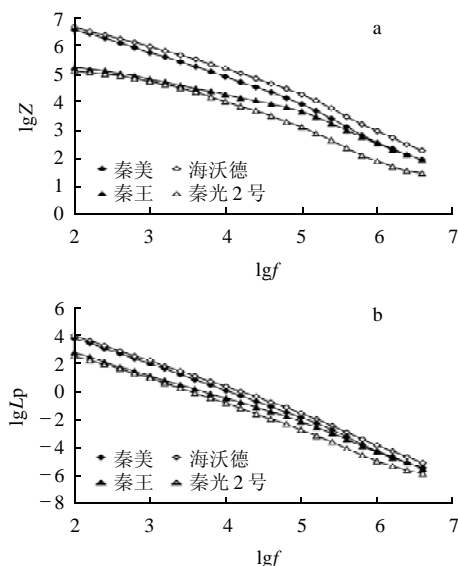
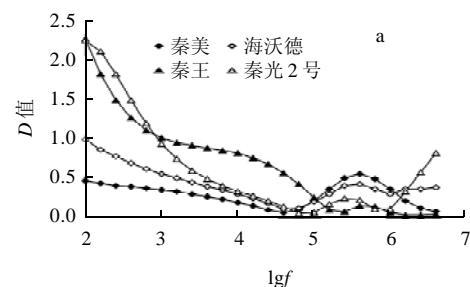


图1 4种果实 $Z$ 和 $L_p$ 随频率的变化  
Fig.1 Changes in  $\lg Z$  and  $\lg L_p$  with  $\lg f$

由图1可知, 两种猕猴桃和两种桃果实 $\lg Z$ 和 $\lg L_p$ 与 $\lg f$ 均有很好的线性关系,  $R^2$ 均大于0.95, 以秦美猕猴桃为例, 其拟合的线性方程为:  $\lg Z=6.98-0.203 \lg f$ 。4类果品 $Z$ 值和 $L_p$ 值都是随着频率的增大在逐渐减小, 其中在100Hz~251kHz之间, 果实 $Z$ 值下降的较快, 但在251kHz~3.98MHz之间, 果实 $Z$ 值下降的较平缓。在各频率下, 电参数 $Z$ 和 $L_p$ 值呈现海沃德猕猴桃>秦美猕猴桃>秦王桃>秦光2号桃的规律变化。在同一频率下, 各品种之间果实 $Z$ 值在15.8~100kHz频段内差异都达到显著水平( $P<0.05$ )。所以在此频率范围内电参数 $Z$ 可作为区分两类及不同品种果实的特征参数。

### 2.2 猕猴桃和桃损耗系数( $D$ )和阻抗相角( $\theta$ )的变化



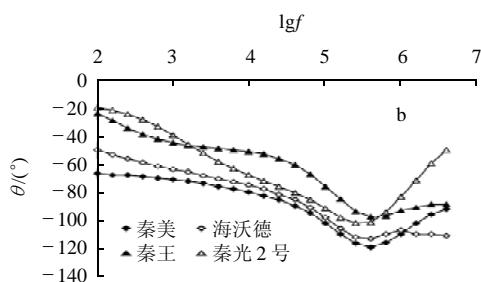


图2 4种果实的 $\theta$ 和 $D$ 随频率的变化  
Fig.2 Changes in  $D$  and  $\theta$  with  $\lg f$

由图2可知,在100Hz~1.58kHz的频率范围内,两种桃果实的 $D$ 值都显著高于两种猕猴桃果实的 $D$ 值( $P < 0.05$ )。两种猕猴桃随频率的变化规律相似,在100Hz~39.8kHz的频率范围内呈线性下降,之后呈单峰曲线变化。 $\theta$ 值随频率升高先呈下降变化到达谷底后又有所回升。在100Hz~6.31kHz的频率范围内,两种桃果实的 $\theta$ 值都显著高于两种猕猴桃果实的 $\theta$ 值( $P < 0.05$ )。

### 2.3 猕猴桃和桃串联等效电阻( $R_s$ )和电导( $G$ )的变化

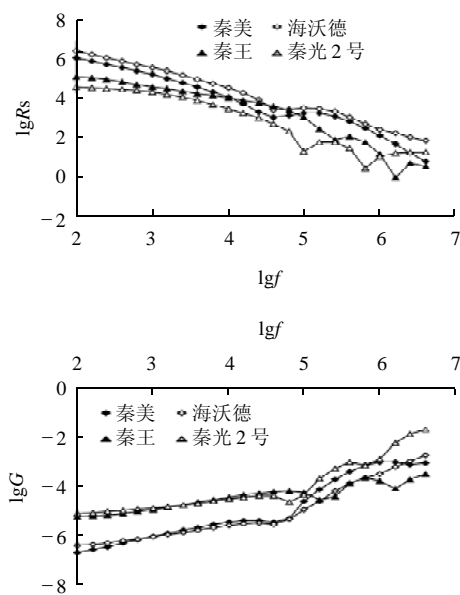


图3 4种果实 $R_s$ 和 $G$ 随频率的变化  
Fig.3 Changes in  $R_s$  and  $G$  with  $\lg f$

由图3可知, $R_s$ 随频率变化呈非线性变化,而是随频率的增高呈下降变化,呈现三次函数下降变化关系。在100Hz~25.1kHz的频率范围内,两种猕猴桃和两种桃果实的 $\lg R_s$ 随 $\lg f$ 的增大都呈现线性下降变化,之后呈不规则变化。在24个电激励频率点所覆盖的频率范围内,猕猴桃品种海沃德的 $R_s$ 值都大于秦美。100Hz~1MHz的频率范围内,秦王桃的 $R_s$ 值都大于秦光2号桃。

当电激频率在1~3.98MHz的频率范围内,秦光2号桃的 $R_s$ 大于秦王桃。在100Hz~6.31kHz的频率范围内,猕猴桃和桃之间都能很好的区分( $P < 0.05$ )。 $G$ 值随频率的增加呈上升趋势,呈指数函数变化关系。在100Hz~100kHz的频率范围内,两种桃的 $G$ 值都显著大于两种猕猴桃的 $G$ 值( $P < 0.05$ )。在100Hz~25.1kHz频率范围内,4类果实的 $\lg G$ 随 $\lg f$ 的增大都呈现线性上升变化,之后呈不规则变化。猕猴桃两个品种之间和桃两个品种之间的 $G$ 值不能区分开来。

### 2.4 猕猴桃和桃果实并联等效电容( $C_p$ )的变化

$C_p$ 反映的是在给定电位差下的电荷储藏量。一般来说,电荷在电场中会受力而移动,当导体之间有了介质,则阻碍了电荷移动而使得电荷累积在导体上,从而造成了电荷的累积储存。

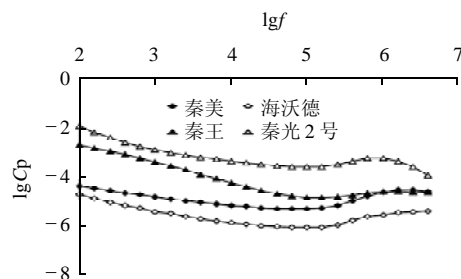


图4 4种果实 $C_p$ 随频率的变化  
Fig.4 Changes in  $C_p$  with  $\lg f$

由图4可知,在100Hz~3.98MHz频率范围内,桃果实的 $C_p$ 值高于猕猴桃果实。其中秦光2号桃的 $C_p$ 值高于秦王桃果实,秦美的 $C_p$ 值高于海沃德果实的 $C_p$ 值。在100Hz~158kHz频率范围内,4个品种果实之间都能很好区分,差异达极显著水平( $P < 0.01$ )。

## 3 讨论

本研究结果表明,检测频率的高低对果实电参数有明显影响。在100Hz~3.98MHz范围内随着频率的增加,猕猴桃(海沃德、秦美)、桃(秦王、秦光2号桃)果实的复阻抗( $Z$ )和并联等效电感( $L_p$ )不断减少。这一结论与叶齐政等<sup>[12]</sup>对番茄、芒果及周永洪等<sup>[13]</sup>对柿子的研究结果相似。这说明虽然果实的种类不同,但频率对 $Z$ 和 $L_p$ 的影响总体上具有一定的相似性。在电场中果实分子存在不同的极化类型<sup>[14]</sup>(偶极、跳跃电子、极化子、离子),各种极化类型与频率密切相关。当频率由低频逐渐转向高频时果实内部分子极化程度就会发生改变,极化类型也就会随之变化,从而表现为电学指标的改变。董怡为<sup>[15]</sup>认为:随电激励频率的增大,电阻的减小是由细胞组织的不均匀引起的。由于细胞膜的电

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,此时,电阻非常大。随着频率增高,细胞膜(细胞壁)间的电容量大,细胞内液中也有电流流过,使电阻明显减小。

食品物料的介电特性描述了处于电磁场中的物质如何与电磁波相互作用的。食品物料的介电特性除了受电磁波的频率和样品的温度影响外,还决定于其组织成分<sup>[16]</sup>。本实验所选的4种果品不同电参数都受到频率的显著影响。郭文川等<sup>[11]</sup>以银凤桃为实验对象,测试了10~4500MHz桃肉和桃汁的介电特性,结果表明,随着频率的增大,桃肉和桃汁的相对介电常数( $\epsilon'_v$ )随着频率的增大单调减小,而 $\epsilon'_v$ 呈现V型的变化局势,其最小值出现在1000MHz左右。郭文川等<sup>[4]</sup>对两种苹果品种的电参数比较得知,红富士苹果具有较大的 $\epsilon'_v$ 较小的电阻率( $\rho$ );红星苹果具有较小 $\epsilon'_v$ 、较大的。故可利用 $\epsilon'_v$ 和的差异区分两苹果品种。郭文川等<sup>[3]</sup>根据其测试结果,以2.4V和0.2V下损耗角正切的差值可作为评判果品种类指标。当 $\Delta \tan \delta_{2.4V} > 0.12$ 时,被测果品为苹果;当 $0.07 \leq \Delta \tan \delta_{2.4V} \leq 0.12$ 时,被测果品为梨;当 $\Delta \tan \delta_{2.4V} < 0.07$ 时,被测果品为猕猴桃。本实验所选的4种果品针对猕猴桃两品种和桃两个品种果实的7个电参数 $Z$ 、 $L_p$ 、 $R_s$ 、 $D$ 、 $\theta$ 、 $G$ 和 $C_p$ 进行了比较,结果表明,在15.8~100kHz频率范围内,可用 $Z$ 作为区分4类果品的特征参数。在100Hz~158kHz频率范围内,4个品种果实的 $C_p$ 值之间的差异达显著水平,可用 $C_p$ 来区分。

#### 参考文献:

- [1] 韩明玉,田玉命,于成哲,等.晚熟白肉甜油桃新品种:秦王2号[J].园艺学报,2001,28(4):376.
- [2] 韩明玉,田玉命,于成哲,等.耐贮运晚熟桃新品种:秦王[J].园艺学报,2001,28(2):182.
- [3] 郭文川,朱新华,王转卫,等.基于介电特性的果品种类识别实验[J].农业机械学报,2005,36(7):158-160.
- [4] 郭文川,郭康权,朱新华.介电特性在番茄和苹果品种识别中的应用[J].农业机械学报,2006,37(8):130-132.
- [5] 郭文川,朱新华,邹养军.苹果果实成熟期间电特性的研究[J].农业工程学报,2007,23(11):264-268.
- [6] 郭文川,朱新华,郭康权.损伤对苹果电参数值的影响[J].农业机械学报,2006,37(8):133-135.
- [7] 唐燕,杜光源,张继澍.损伤对猕猴桃电参数的影响[J].食品科学,2011,32(5):6-11.
- [8] 马海军,宋长冰,张继澍,等.电激励信号频率对红点病苹果采后电学特性影响[J].农业机械学报,2009,40(10):97-101.
- [9] 马海军,冯美,张继澍.100Hz~3.98MHz下苹果虎皮病果实电特性研究[J].农业机械学报,2010,41(11):105-209.
- [10] 郭文川,朱新华,郭康权.采后苹果电特性与生理特性的关系及其应用[J].农业工程学报,2005,21(7):136-139.
- [11] 郭文川,陈克克.桃10~4500MHz间的介电特性与内部品质关系分析[J].农业机械学报,2010,41(3):134-138.
- [12] 叶齐政,姚宏霖,李黎,等.根据水果阻抗的特性频率变化测定采后水果成熟度的方法[J].植物生理学通讯,1999,35(4):304-307.
- [13] 周永洪,黄森,张继澍,等.火柿果实采后电学特性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(4):117-122.
- [14] NIGMATULLIN R R, NELSON S O. Recognition of the "fractional" kinetics in complex systems: dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0.01 to 1.8GHz[J]. Signal Processing, 2006, 86: 2744-2759.
- [15] 董怡为.食品的电特性及其应用[J].食品科学,1995,16(4):6-9.
- [16] NUNES A C, BOHIGAS X, TEJADA J. Dielectric study of milk for frequencies between 1 and 20 GHz[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(2): 250-255.