

唐玉荣,刘 扬,兰海鹏,等. 成熟期库尔勒香梨电学参数的变化规律[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):137-139.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.035

# 成熟期库尔勒香梨电学参数的变化规律

唐玉荣,刘 扬,兰海鹏,沈柳杨,栗 文

(塔里木大学机械电气化工程学院,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**以库尔勒香梨为材料,在 0.1~1 000 kHz 测定频率范围内,研究了香梨成熟过程中硬度和叶绿素含量的变化规律,以及不同采摘时间内香梨电学参数随频率的变化规律,并对电学参数与香梨理化指标的相关性进行了分析。结果发现,随着采摘时间的延长,库尔勒香梨的硬度逐渐减小,叶绿素含量逐渐减小;在试验参数范围内,随着测试频率的增加,并联等效电容、并联等效电感、并联等效电阻和复阻抗不断减小,耗散因数先增加后减小。频率一定时,采摘时间对并联等效电容、并联等效电阻和耗散因数影响较大,对并联等效电感和复阻抗影响较小。研究结果可为库尔勒香梨电学特性的品质检测研究提供理论依据。

**关键词:**库尔勒香梨;电学参数;频率;硬度;叶绿素

**中图分类号:** S661.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0137-03

库尔勒香梨品质优良,富含营养,深受广大消费者青睐,是新疆特色水果。香梨具有香味浓郁、清甜爽口、维生素 C 含量高、皮薄汁丰、耐贮藏等特点,享有“中华蜜梨”“梨中珍品”的美誉<sup>[1-5]</sup>。经过长期发展,库尔勒香梨生产已经成为香梨主产区的重要经济支柱产业,是保证当地农民收入的优势产品。然而,库尔勒香梨的采收和分级主要依据果农经验,难以定量分析香梨成熟度,人工分级方法效率低、准确性差<sup>[6-8]</sup>,严重影响果农切身利益和香梨自身价值。因此,需要建立科学的评价方法,以指导库尔勒香梨品质检测。

目前,无损检测技术是水果品质检测的一种应用方法。由于电学参数的测定具有快速、灵敏、操作方便等优点,基于电特性的无损检测技术已成为研究水果品质检测的重要手段<sup>[9-13]</sup>。库尔勒香梨具有皮薄多汁的特点<sup>[14-15]</sup>,可为基于电学特性的无损检测技术应用提供有利条件。但是有关库尔勒香梨果实品质与电学参数关系的研究相对较少,香梨在成熟过程中电学特性的变化规律仍需深入研究。

本研究利用自制测量系统测量库尔勒香梨电学参数,分析成熟期果实理化指标的变化情况,研究不同采摘时间内果实电学参数随频率的变化规律,研究果实理化指标和电学参数的相关性,旨在为香梨成熟期的确定和香梨采收分级提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所选材料为库尔勒香梨,于 2015 年 9 月中旬采摘于新疆维吾尔自治区阿拉尔市塔里木大学果园。该地区位于塔里木河河畔,是南疆地区优质库尔勒香梨生产区。试验所选

香梨样本大小基本一致,果实形状规则、色泽均匀、成熟度基本相同,且无机械损伤和病虫害。

### 1.2 测定指标及方法

**1.2.1 电学参数** 用自制的电学参数测量系统来测量库尔勒香梨的电学参数(图 1)。由于外界环境会对测量结果产生干扰,所以夹持装置采用 2 个直径为 3.5 mm 的铜质探头,刺入香梨深度为 15 mm,尖端为锥角 45°,测量电极间距离为 35 mm。试验过程中环境温度控制为 25℃,相对湿度控制为 55%。结合所应用电桥测量仪的测量范围,选取测量电学参数为并联等效电容  $C_p$ 、并联等效电感  $L_p$ 、并联等效电阻  $R_p$ 、复阻抗  $Z$  和耗散因数  $D$ ;测试电压为 1 V;测试频率分别为 0.1、0.316 2、1、3.162、10、31.62、100、316.2、1 000 kHz。每隔 7 d 进行 1 次电参数测定,每次测定设 3 个重复,每重复 10 个果实。

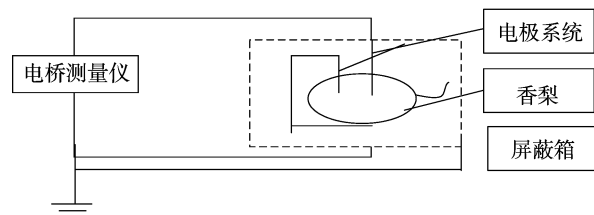


图1 库尔勒香梨电学特性测量系统示意

**1.2.2 品质指标** 香梨成熟期间理化指标测量试验:在香梨成熟期内,每隔 7 d 测量 1 次香梨品质指标硬度和叶绿素含量。香梨采摘后立即进行电学参数测量,根据采摘时间变化处理试验数据。

**硬度测量:**用数显果实硬度计 GY-4 测量果实硬度。每次取 20 个香梨,在香梨赤道相对 6 个点,去皮后进行测量。用平均值表示香梨硬度,单位用  $\text{kg}/\text{cm}^2$  表示。

**叶绿素含量测量:**利用丙酮比色法,参照黄金忠的方法<sup>[16]</sup>,单位用  $\text{mg}/100 \text{ g}$  表示。

**1.2.3 数据处理** 数据处理:采用 SPSS 软件和 SigmaPlot 软件进行数据分析处理。

收稿日期:2016-08-02

作者简介:唐玉荣(1982—),女,黑龙江巴彦人,硕士研究生,实验师,研究方向为自动化。E-mail:hxtxylove@126.com。

通信作者:刘 扬,硕士,讲师,从事农产品加工与贮藏研究。Email:403622721@qq.com。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同采摘时间的库尔勒香梨品质指标变化

果实的硬度和叶绿素含量是衡量库尔勒香梨品质的重要指标。研究发现,香梨的硬度随着采摘时间的延长而逐渐下降(图2)。分析其原因,随着采摘时间的延长,果实不断趋向成熟发育;在成熟前,香梨细胞壁的主要成分是原果胶,呈不溶状态,肉质质地较硬;随着果实不断成熟,原果胶由不溶状态变为可溶状态,细胞结构随之破坏,导致果肉硬度迅速下降<sup>[17]</sup>。

香梨的叶绿素含量随着采摘时间的延长逐渐降低(图3)。分析其原因,果实发育初期,叶绿素合成不断加强,含量逐渐增加,当达到一定峰值后,其含量迅速下降,此时库尔勒香梨进入成熟期,直到果实完全成熟。进入成熟期的果实叶绿体崩解,叶绿素含量随着成熟时间增加逐渐减少,但叶绿体崩解之后类胡萝卜素依然存在于有色衰老组织及成熟果皮中,外在现象表征为香梨颜色由绿色向黄绿,局部暗红转变<sup>[18-20]</sup>。

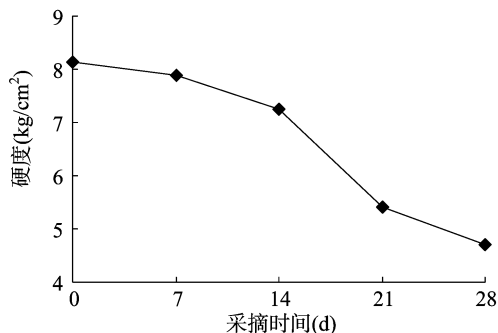


图2 香梨果实硬度随采摘时间的变化

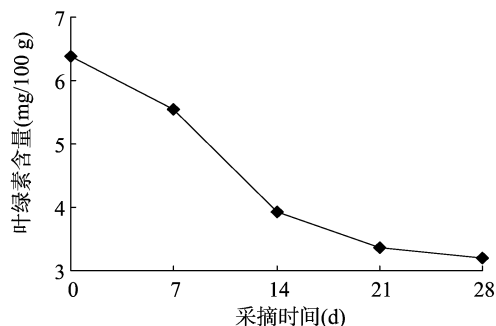


图3 香梨果实叶绿素含量随采摘时间的变化

### 2.2 不同采摘时间的库尔勒香梨电学参数变化

2.2.1 并联等效电容  $C_p$  随着测试频率不断增加,  $C_p$  值呈现不断减小的趋势(图4)。当频率一定时,采摘时间越长,  $C_p$  值就越大,表明采摘时间对并联等效电容有较大影响。

2.2.2 并联等效电感  $L_p$  随着测试频率的增加,  $L_p$  值不断减小,最后不再发生变化(图5)。在同一频率下,随着采摘时间的延长  $L_p$  值基本相同,采摘时间对并联等效电感几乎没有影响。

2.2.3 并联等效电阻  $R_p$  随着频率值的增加,  $R_p$  值不断减小。当频率增加到 100 kHz 以上时,  $R_p$  值基本不发生变化(图6)。在同一频率下,  $R_p$  值随采摘时间的延长而减小。在

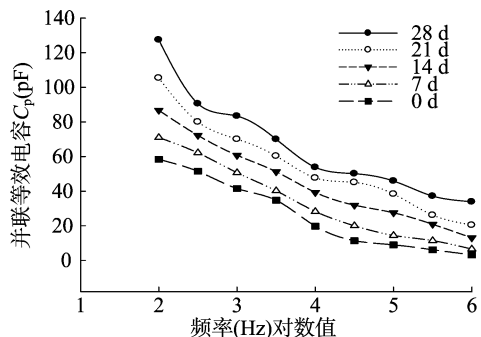


图4 不同采摘时间香梨果实并联等效电容随频率的变化

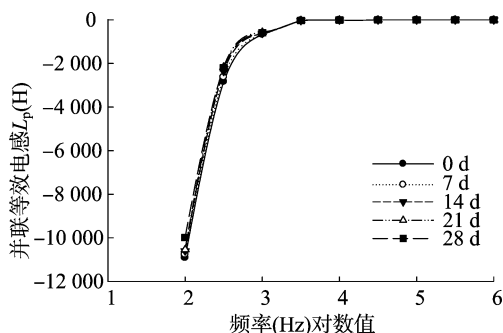


图5 不同采摘时间香梨果实并联等效电感随频率的变化

频率 0.1 ~ 100 kHz 下,采摘时间对并联等效电阻影响较大,频率为 100 kHz 以上时,采摘时间对并联等效电阻几乎没有影响。

2.2.4 复阻抗  $Z$  随着频率值的提高,  $Z$  值不断减小(图7)。在频率一定时,随着采摘时间增大复阻抗值越小,但复阻抗值变化不大,表明香梨复阻抗值受频率的影响远大于采摘时间影响。

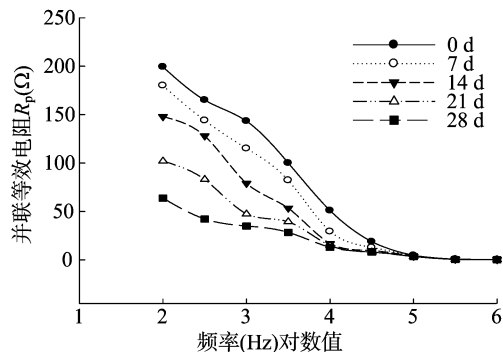


图6 不同采摘时间香梨果实并联等效电阻随频率的变化

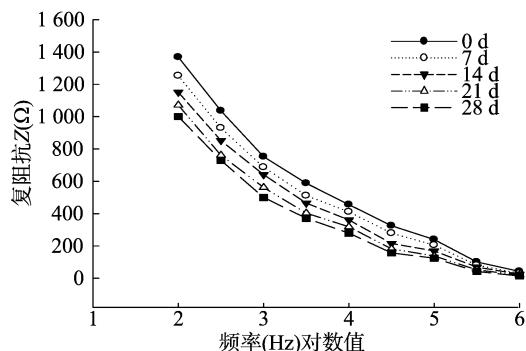


图7 不同采摘时间香梨果实复阻抗随频率的变化

2.2.5 耗散因数  $D$  随着测试的增加,耗散因数值先快速增加,达到峰值后呈现不断下降的趋势(图 8)。当频率一定时,采摘时间越长,耗散因数  $D$  值就越小,采摘时间对耗散因数值影响较大。

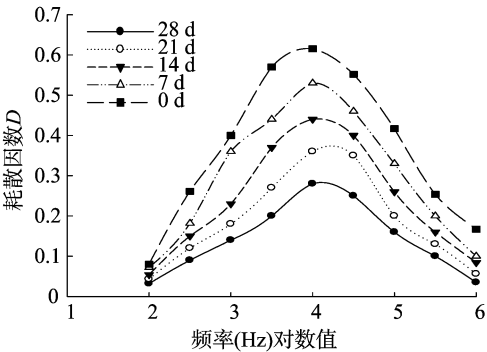


图8 不同采摘时间香梨果实耗散因数随频率的变化

表 1 1 kHz 频率下库尔勒香梨电学参数与品质指标的相关系数

品质指标	相关系数				
	$C_p$	$L_p$	$R_p$	$D$	$Z$
硬度	-0.946 *	-0.908 *	0.948 *	-0.975 **	0.974 **
叶绿素含量	0.964 **	-0.950 *	0.985 **	-0.897 *	0.941 *

注:“\*\*”表示在 0.01 水平上显著相关,“\*”表示在 0.05 水平上显著相关。

3 结论

本研究表明,随着采摘时间的延长,库尔勒香梨的硬度逐渐减小,叶绿素含量逐渐减小。在试验参数范围内,随着测试频率的增加,并联等效电容、并联等效电感、并联等效电阻和复阻抗不断减小,耗散因数先增加后减小。频率一定时,采摘时间对并联等效电容、并联等效电阻和耗散因数影响较大,对并联等效电感和复阻抗影响较小。在 1 kHz 频率下,并联等效电容、并联等效电感、并联等效电阻、复阻抗和耗散因数与香梨硬度和叶绿素含量均有显著相关性。研究结果可为库尔勒香梨电学特性的品质检测研究提供理论依据。

参考文献:

[1]张 峰,李世强,何子顺. 库尔勒香梨产业发展现状与存在问题[J]. 山西果树,2014(5):40-42.  
[2]刘 艳,吴运建. 库尔勒香梨研究进展[J]. 新疆农垦科技,2015(2):23-26.  
[3]南 鑫,孙桂丽,李 疆. 库尔勒香梨光合特性和果实品质研究进展[J]. 中国园艺文摘,2014(2):1-4,53.  
[4]兰海鹏,唐玉荣,刘文亮,等. 成熟期基库尔勒香梨电学特性研究[J]. 农机化研究,2014(7):178-181.  
[5]兰海鹏,唐玉荣,刘文亮,等. 成熟期基库尔勒香梨电学特性研究[J]. 农机化研究,2014(7):178-181.  
[6]兰海鹏,唐玉荣,安 静,等. 基于硬度和 ssc 的库尔勒香梨成熟度评价方法研究[J]. 农机化研究,2013(11):193-196.  
[7]兰海鹏,贾富国,唐玉荣,等. 库尔勒香梨成熟度量化评价方法

2.3 库尔勒香梨电学参数与品质指标的相关性分析

为了分析库尔勒香梨各个电学参数与品质指标的相关性,以 1 kHz 频率下的电学参数作为参考,采用 SPSS 软件对香梨电参数和品质指标硬度和叶绿素含量进行了相关性分析(表 1)。研究发现,1 kHz 频率下库尔勒香梨硬度与复阻抗  $Z$  呈极显著正相关,相关系数为 0.974 \*\*。硬度与并联等效电阻  $R_p$  呈显著正相关,相关系数为 0.948 \*。硬度与损耗因数  $D$  呈极显著负相关,相关系数为 -0.975 \*\*。硬度与并联等效电容  $C_p$  和并联等效电感  $L_p$  呈显著负相关,相关系数为 -0.946 \* 和 -0.908 \* (表 1)。此外,1 kHz 频率下库尔勒香梨叶绿素含量与并联等效电容  $C_p$  和并联等效电阻  $R_p$  呈极显著正相关,相关系数分别为 0.964 \*\* 和 0.985 \*\*。叶绿素含量与复阻抗  $Z$  呈显著正相关,相关系数为 0.941 \*。叶绿素含量与并联等效电感  $L_p$  和损耗因数  $D$  呈显著负相关,相关系数分别为 -0.95 \* 和 -0.897 \* (表 1)。

[J]. 农业工程学报,2015(5):325-330.  
[8]兰海鹏,刘 扬,何咏梅,等. 基于有效积温的库尔勒香梨成熟模型研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):234-236.  
[9]胥 芳,计时鸣,张立彬,等. 水果电特性的无损检测在水果分选中的应用[J]. 农业机械学报,2002,33(2):53-56,60.  
[10]张立彬,胥 芳,贾灿纯,等. 苹果内部品质的电特性无损检测研究[J]. 农业工程学报,2000,16(3):104-106.  
[11]张立彬,胥 芳,周国君,等. 苹果的介电特性与新鲜度的关系研究[J]. 农业工程学报,1996,12(3):190-194.  
[12]郭文川,朱新华,郭康权. 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.  
[13]郭文川,陈克克. 桃 10~4 500 MHz 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.  
[14]陈 江,张凯丽,张 琦. 库尔勒香梨开花物候期对环境因子的响应[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):188-191.  
[15]穆蓁蓁,克热木·伊力,王一静. 高温干旱对库尔勒香梨叶片生理指标的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):209-212.  
[16]黄金忠,宁素芳,杨艳彬,等. 果蔬贮藏加工学实验指导书[M]. 石河子:石河子大学,1996:2-3.  
[17]王海波,陈学森,辛培刚,等. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价[J]. 果树学报,2007,24(4):513-516.  
[18]刘福岭,戴行钧. 食品物理与化学分析方法[M]. 北京:北京轻工业出版社,1987:105-108.  
[19]关军锋,马智宏. 苹果果实软化与果胶含量、质膜透性和钙溶性的关系[J]. 果树学报,2001,18(1):11-14.  
[20]张 丽,罗海波,姜 丽,等. 果实成熟衰老过程中蛋白质组学研究进展[J]. 植物生理学报,2011,47(9):861-871.