

# 新红星苹果果实采后电学特性研究

沈江洁<sup>1</sup>, 黄 森<sup>2</sup>, 张院民<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 试验系统地研究了新红星苹果果实采后复阻抗( $Z$ )、并联等效电阻( $R_p$ )、并联等效电容( $C_p$ )、并联等效电感( $L_p$ )、电导( $G$ ) 5 个电学指标和硬度、可溶性固性物、有效酸含量和乙烯释放速率 4 个品质指标之间的关系, 筛选出了能够用于新红星苹果无损检测的特征频率和敏感电参数。结果表明: 39.8 kHz 可作为新红星苹果果实采后品质无损检测的特征频率,  $Z$ 、 $R_p$  和  $C_p$  可作为标志新红星苹果果实成熟衰老过程中品质指标变化的敏感电参数。

**关键词:** 新红星苹果; 电学指标; 果实品质指标; 无损检测

**中图分类号:** Q 945.6<sup>+</sup>6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)06-0009-03

苹果是温带地区栽培的最重要的果树树种, 在世界果品市场中占有重要的地位。苹果从采收到食用需要一定的时间, 并且果实成熟期间最重要的变化发生在果实采后阶段, 因而检测从果实采收到消费的采后过程就很重要。采收后的果品仍然是有生命活动的有机体, 采后成熟的过程中经历了一系列变化, 水以及其它物质成分的变化导致果品内部空间电荷分布的变化。生物电场的分布和强度在宏观上影响果品的电学特性<sup>[1]</sup>。新红星苹果着色鲜艳, 香气浓郁, 是我国重要的鲜食品种, 该品种果实较大, 色泽鲜艳, 外形美观, 含糖量高, 营养丰富, 甜香爽口, 是世界著名的优质苹果品种。但新红星果实采后易绵易烂, 不利于较长时间贮存, 极大地影响了其商品价值。目前国内外关于新红星苹果采后生理生化变化的研究已有较多报道, 但新红星苹果果实采后电学特性与生理生化特性的研究未见报道。

该试验旨在研究新红星苹果采后果实采后的电学特性, 进而筛选出能够用于无损检测的特征频率和敏感的电学指标, 为基于电特性的果实品质无损检测技术奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以新红星苹果(Starkrimson)为试材, 样品于试验当天采摘于陕西杨凌五泉乡的苹果园中。挑选大小均匀

(直径 67~72 mm)、无损伤、无病虫害、着色均匀的果实作为试验用果。

### 1.2 测定指标及方法

1.2.1 电参数 新红星苹果果实采后复阻抗( $Z$ )、并联等效电阻( $R_p$ )、并联等效电容( $C_p$ )、并联等效电感( $L_p$ )、电导( $G$ ) 5 个电学指标的测定参照文献[2-5]。

1.2.2 品质指标 果实硬度的测定: 用果实硬度计(意大利 FT-327)测定。在果实对称两颊部各削去直径约 1 cm 的圆片果皮, 用硬度计测定果实硬度。3 次重复, 每重复 10 个果实。可溶性固形物的测定: 将测试过硬度的所有样品果肉用榨汁机榨汁, 用 PR-101 Cat. No. 3412 手持数显糖度计测定果汁中可溶性固型物含量, 3 次重复取平均值, 以百分数表示。有效酸度的测定: 采用上海精密科学仪器有限公司 pH S-3C 型, 电位法即 pH 计测定果实酸度, 3 次重复。每重复取果肉 100 g (取果 10 个, 每果取果肉 10 g) 榨汁, 取汁液直接用 pH 计测定。乙烯释放速率的测定: 将果实放入干燥器中, 密闭 3 h 后, 用注射器抽取 1 mL 气体, 用岛津 GC-14A 气相色谱仪测定。分析条件: GDX-502 色谱柱, 柱温 60℃; 氢气 0.7 kg/cm<sup>2</sup>, 氮气 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, 空气 0.7 kg/cm<sup>2</sup>, 氢火焰离子化检测器检测, 检测室温度 110℃<sup>[9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 新红星苹果果实采后电学特性的变化

2.1.1 复阻抗  $Z$  的变化 不同贮藏时期的新红星苹果果实复阻抗的对数值  $\lg Z$  与和频率的对数值  $\lg f$  的关系见图 1。由图 1 可看出, 新红星苹果果实复阻抗的对数值  $\lg Z$  随频率增加不断减小, 果实采后 0 d 时的  $\lg Z$  值由 0.1 kHz 的 6.34 下降到 1 000 kHz 时的 2.21, 在同一频率下, 随着果实采后时间的延长,  $\lg Z$  值不断减小。当频率为 100 kHz 时, 贮藏 0.8、16.24 d 的新红星苹果果实  $\lg Z$  值分别为 4.61、4.89、4.60、4.78; 另外通过线性拟合

第一作者简介: 沈江洁(1983-), 女, 河北黄骅人, 硕士, 现主要从事果实采后生理和无损检测研究工作。E-mail: shenjiangjie@126.com。

通讯作者: 黄森(1954-), 男, 陕西宝鸡人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事果实采后生理研究工作。E-mail: xnhuang@s163.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30471001)。

收稿日期: 2010-12-29

发现,不同贮藏时期红星苹果果实  $\lg Z$  与频率对数值  $\lg f$  有很好的线性关系;斜率为  $-0.201 \sim -0.202$ 。通过以上分析得知,新红星苹果果实  $Z$  值与测定频率及果实采后成熟度关系密切。

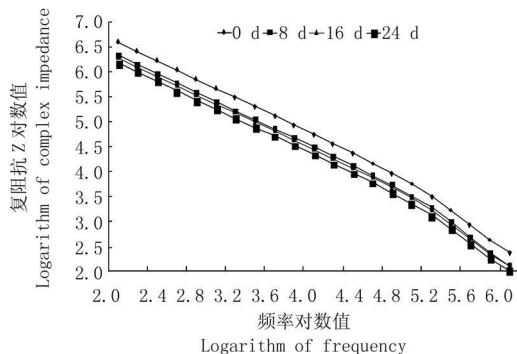


图1 不同贮藏期新红星苹果果实复阻抗随频率的变化

Fig. 1 Fruit complex impedance variation of starkrimson during different storage period at different testing frequencies

**2.1.2 并联等效电阻  $R_p$  的变化** 由图2可知  $R_p$  的对数值随频率的增加不断减小,在  $0.1 \sim 39.8$  kHz 频率范围内,  $\lg R_p$  与  $\lg f$  呈线性关系,随  $\lg R_p$  的增长而下降;在  $39.8$  kHz 附近出现拐点,过后仍呈线性关系;在同一频率下,  $\lg R_p$  随贮藏时间的延长而减小。

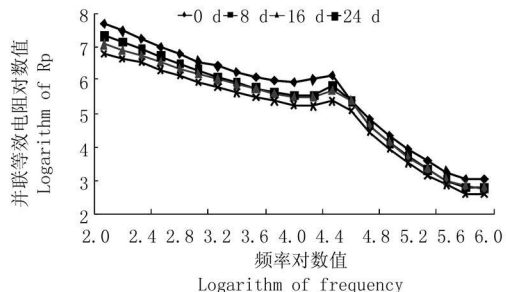


图2 不同贮藏期新红星苹果果实并联等效电阻随频率的变化

Fig. 2 Fruit parallel equivalent resistance variation of starkrimson during different storage period at different testing frequencies

**2.1.3 并联等效电容  $C_p$  的变化** 由图3可知,  $C_p$  值随频率增加不断减小,在  $39.8$  kHz 之后开始增加,在同一频率下,  $C_p$  值随贮藏时间的延长不断增大。

**2.1.4 并联等效电感  $L_p$  的变化** 由图4可知,果实  $L_p$  的频率特性表现出与  $Z$  相似的规律,即  $\lg L_p$  与  $\lg f$  呈线性关系,  $\lg L_p$  随频率增加不断减小,在所测频率范围的同一频率下,  $\lg L_p$  随贮藏时间的延长而逐渐减小。

**2.1.5 电导  $G$  的变化** 由图5可知,果实电导随测定频率对数值  $\lg f$  增加不断增大。在  $0.1 \sim 39.8$  kHz 频率范围内,电导与  $\lg f$  呈线性关系;在同一频率下,  $G$  随贮藏时间的延长而增大,当频率在  $39.8$  kHz 附近时,电导的变化出现1个拐点,随后又呈线性变化,同时不同贮藏时期  $G$  值有较大波动,随贮藏期延长,果实导电性能逐渐增强。

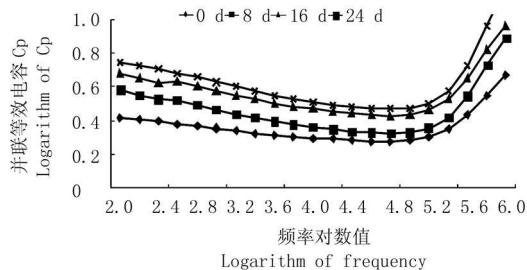


图3 不同贮藏期新红星苹果果实并联等效电容随频率的变化

Fig. 3 Fruit parallel equivalent capacitance variation of starkrimson during different storage period at different testing frequencies

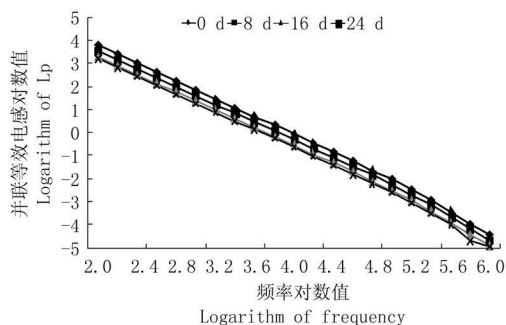


图4 不同贮藏期新红星苹果果实并联等效电感随频率变化

Fig. 4 Fruit parallel equivalent inductance variation of starkrimson during different storage period at different testing frequencies

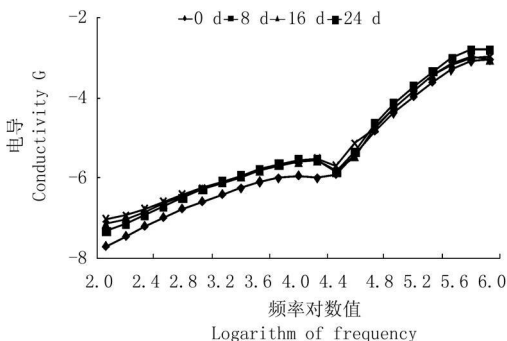


图5 不同贮藏期新红星苹果果实电导随频率变化

Fig. 5 Fruit conductivity variation of starkrimson during different storage period at different testing frequencies

## 2.2 新红星苹果果实采后品质指标变化

新红星苹果果实采后品质指标的变化主要有果实硬度、可溶性固形物、有效酸度及乙烯释放率等方面的变化,由图6可知,果实采后的新红星苹果果实硬度不断降低,第24天果实硬度已由0 d的  $9.13 \text{ kg/cm}^2$  下降到  $4.21 \text{ kg/cm}^2$ ,此时果实已经失去商品价值,应撤架,其 pH 值在采后逐渐增大,10 d 左右 pH 减小,并到24 d 基本保持不变;由图7可知,新红星苹果在上架初期,可溶性固形物含量由0 d的  $13.2\%$  上升至12 d的  $14\%$ ,随贮藏时间的继续延长,可溶性固形物含量开始下降,但在整个过程中,可溶性固形物在果实采后内变化不大;

果实呼吸代谢和乙烯释放从贮藏其始迅速增加, 在贮藏 12 d 前后达到高峰, 之后回落。

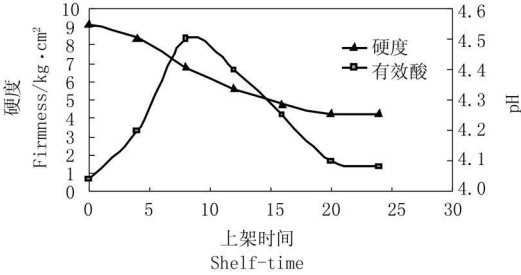


图 6 新红星苹果货架期硬度和 pH 值的变化

Fig. 6 Change on firmness and pH value of Starkrimson

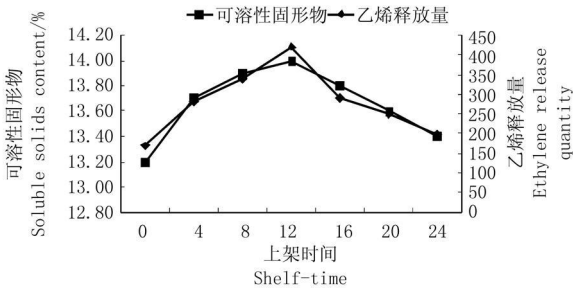


图 7 新红星苹果货架期可溶性固形物和乙烯释放量的变化

Fig. 7 Change on soluble solids content and ethylene release quantity of Starkrimson

2.3 苹果果实采后电参数与品质指标的相关性分析

将各品质指标与 39.8 kHz 下与其相关性达到显著水平和极显著水平的电参数进行多元逐步回归, 得到回归方程分别为: 复阻抗  $y$  与硬度  $x$  关系:  $y = -12.356x + 52.43$ ,  $R^2 = 0.6622$ ,  $R = -0.8137$ ; 串联等效电阻  $y$  与硬度  $x$  关系:  $y = -6.9195x + 27.913$ ,  $R^2 = 0.8067$ ,  $R = -0.9320$ ; 并联等效电容  $y$  与硬度  $x$  关系:  $y = 12.466x + 2.8205$ ,  $R^2 = 0.7833$ ,  $R = 0.8850$ ; 串联等效电阻  $y$  与有效酸度  $x$  关系:  $y = -0.7908x + 7.7189$ ,  $R^2 = 0.7589$ ,  $R = -0.8865$ 。

由以上回归方程可以看出, 新红星苹果果实在 39.8 kHz 频率下的  $C_p$  与硬度呈极显著正相关, 相关系数为 0.8850。复阻抗  $Z$  与串联等效电阻  $R_p$  与果肉硬度均呈显著负相关, 相关系数分别为  $-0.8137$  和  $-0.9320$ ; 有效酸含量变化是评价果实采后品质的一个重要指标, 在 39.8 kHz 频率下,  $R_p$  与有效酸含量呈显著负相关, 相关系数  $R$  为  $-0.8865$ ;  $G$ 、 $Z$ 、 $L_p$ 、 $C_p$  与有效酸含量均无显著相关性。

3 结论

研究结果表明, 新红星苹果果实电学参数的变化与电场频率和果实成熟度密切相关。

在相同的频率下, 随新红星苹果果实贮藏时间的延长, 果实成熟度增加, 果实复阻抗、并联等效电阻和电感逐渐下降; 不同频率下电学指标与品质指标的相关性存在明显差异, 在 39.8 kHz 下品质指标与电参数的综合相关性最好, 39.8 kHz 可作为新红星苹果果实采后品质无损检测的特征频率。利用相关分析和回归分析方法, 在特征频率下将各品质指标和与其相关性达到显著水平的电参数学进行多元逐步回归, 表明  $Z$ 、 $R_p$  和  $C_p$  可作为标志新红星苹果果实成熟衰老过程中品质指标变化的敏感电参数。

参考文献

[1] 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): 186-190.  
[2] Hewlett-Packard. Solutions for measuring permittivity and permeability with LCR meters and impedance analyzers[J]. Application Note 1369-1, 2006.  
[3] Kandala C V K, Nelson S O. Nondestructive moisture determination in small samples of peanuts by RF impedance measurement[J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(2): 715-718.  
[4] 王玲, 黄森, 张继澍, 等. ‘嘎拉’苹果果实品质的电学特性研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 402-407.  
[5] 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.  
[6] 邵晓蕾, 黄森, 于春阳, 等. 尖柿果实采后电学特性和品质指标的关系[J]. 西北农业学报, 2010(9): 66-69.

Study on the Electricity Characteristic Research of Postharvest Starkrimson

SHEN Jiang-jie<sup>1</sup>, HUANG Sen<sup>2</sup>, ZHANG Yuan-min<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Science, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** In this paper, the relation between 5 electrical parameters (complex impedance  $Z$ , Parallel equivalent resistance  $R_p$ , parallel equivalent capacitance  $C_p$ , the parallel equivalent inductance ( $L_p$ ) and conductivity ( $G$ ) and 4 quality indexes (degree of hardness, the soluble soundness, the effective acid content and ethylene production rate) were studied comprehensively of different frequencies. The characteristic frequency and the sensitive electrical parameters in nondestructive inspection was finded. The results showeel that the 39.8 kHz was the characteristic frequency for detecting electrical parameters of persimmon fruit on shelf-life.  $Z$ ,  $R_s$  and  $C_p$  could be used as the sensitive electrical parameters that indicate mature and senescence of postharvest starkrimson fruit.

**Key words:** starkrimson; electrical parameters; fruit quality indexes; non-destructive detection