

李海峰, 张 燕, 贺晓光, 等. 苹果(黄元帅)贮藏过程中品质变化与介电特性及力学特性的相关性[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 910-914.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.032

## 苹果(黄元帅)贮藏过程中品质变化与介电特性及力学特性的相关性

李海峰, 张 燕, 贺晓光, 张海红

(宁夏大学农学院食品科学系, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 为了研究苹果(黄元帅)在贮藏过程中品质与介电常数及力学特性之间的相关性, 试验首先对不同贮藏条件(常温、4℃)的苹果水分和糖度进行了检测, 同时使用 LCR 测量仪和 TA-XT plus 质构仪, 对苹果进行介电检测和压缩-穿刺试验。结果表明: 苹果的复阻抗与水分含量、糖度的决定系数分别达到 0.911 1 和 0.959 3, 苹果果皮强度与水分含量、糖度的决定系数分别达到 0.901 6 和 0.927 3, 均有显著相关性。

**关键词:** 介电常数; 力学品质; 果品贮藏

中图分类号: S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2015)04-0910-05

## Relationship between apple quality and dielectric property and mechanical property during storage

LI Hai-feng, ZHANG Yan, HE Xiao-guang, ZHANG Hai-hong

(Department of Food Science, College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** To discuss the effects of apple quality changes on the dielectric and mechanical property, the correlations between apple quality parameters and dielectric and mechanical parameters were studied by detection of water and sugar contents stored at room temperature and 4℃ and dielectric and mechanical measurement. Results showed that the determination coefficients between complex impedance and water content, and between complex impedance and sugar content were 0.911 1 and 0.959 3, respectively. The determination coefficients between peel strength and water content and between peel strength and sugar content were 0.901 6 and 0.927 3, respectively. It was indicated that the apple quality was positively correlated with dielectric and mechanical properties.

**Key words:** dielectric constant; mechanical quality; fruit and vegetable storage

中国水果资源丰富、品种繁多, 苹果产量占水果总产量的 25% 左右。然而由于绝大部分苹果来源于不同的农户, 采摘及运输过程中不同程度的损伤以及病虫害等的影响, 使苹果品质差别很大, 给苹果的贮藏保鲜和分选加工带来一系列问题<sup>[1]</sup>。因而

如能在贮藏或加工前发现并剔除内部有缺陷的水果, 既可减少损失, 又能提高贮藏质量, 做到优质优价。目前水果的品质主要以视觉和口感等感官指标来评定<sup>[2]</sup>, 主要成分的测定大都采用破坏性分析方法, 无法迅速而准确地反映水果的内部品质。要进行苹果品质的检测与分级, 必须首先了解与苹果品质有关的物理机械特性以及这些特性与苹果品质之间存在的有机联系, 本研究的目的是寻找苹果的品质与介电特性和力学特性之间的相关性。

收稿日期: 2015-02-15

作者简介: 李海峰(1973-), 男, 陕西榆林人, 硕士, 副教授, 主要从事农产品无损检测及加工。(E-mail) lihaifeng0426@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所选材料为果园采摘的黄元帅苹果(*Jablon poma*)。选择体形相对均匀一致、无损伤的八九成熟度的果实,确保果实试验前物理特性的初始状态相对一致,降低果实之间个体差异对试验结果的影响。将采摘的苹果分别在2种条件下贮藏,第1组:常温20℃左右贮藏;第2组:用保鲜膜包装的果实4℃下的冰柜内贮藏。选取150个体形相对均匀一致的苹果,将150个苹果按每75个1组,分为2组,组编号1至2号。每组中又分为每5个一小组编为1至15号(如第1组编号为:1-1, 1-2, 1-3等)。在不同贮藏条件下,每隔3d进行介电常数检测、力学压缩-穿刺测试、糖度以及水分的试验,直至果实开始腐烂,为了比较客观地评价苹果的介电特性和力学特性随贮藏时间的变化规律,本试验以新鲜状态(即第1次测定)时的苹果作为测定基准。

### 1.2 仪器与设备

HIOKI-3532-50型LCR测试仪由深圳实验设备有限公司生产,TA-XT2i质构分析仪由英国Stable Micro Systems有限公司生产,冰柜由青岛澳柯玛集团公司生产,水分测定仪YLS16A由上海婉源电子科技有限公司生产,MQK-10手持式折光仪由上海实验设备有限公司生产。

### 1.3 试验方法

用LCR电学测试系统获取相关参数:复阻抗( $Z$ )、损耗系数( $D$ )。

用质构仪的P/5检测探头,进行压缩-穿刺测试,测出质地特性参数:果皮强度、果皮破裂距离、果皮脆性以及果瓢坚实度。

糖度和水分试验:切开苹果取汁利用阿贝折光仪和水分测量仪测其糖度和水分。

## 2 结果

### 2.1 电压及频率对介电参数的影响

2.1.1 测量电压对介电参数的影响及分析 从图1中可以看出,随着测量电压值变化,各介电参数值基本不发生变化,近似呈一条直线,因此,测量电压对介电特性参数影响较小,且相对于复阻抗来说, $C_s$ 、 $D$ 、 $R_s$ 数量级较小,与X轴相接近。上述试验结果显示,0.25~1.50V均可做为测试电压,本试验

选1.0V为测量电压。

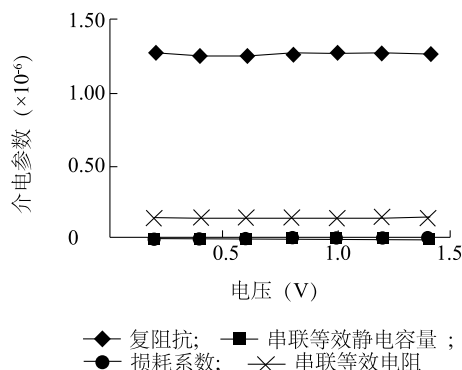


图1 介电参数的电压特性

Fig. 1 The voltage characteristic of dielectric parameters

2.1.2 测量频率对介电参数的影响 由图2可以看出,苹果的复阻抗随测量频率的增大而逐渐降低,在10~40kHz频率范围内变化较大,对测量数据产生较大影响,在80~100kHz范围内变化较平缓,基本保证测量数据的稳定性,因此试验选用测量频率为90kHz。

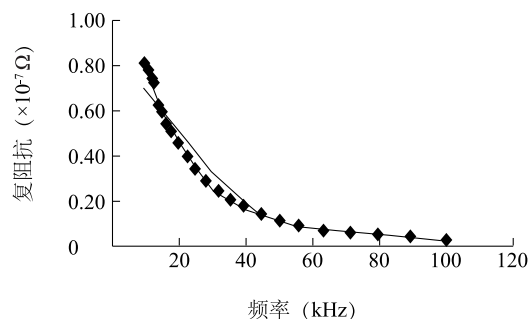


图2 复阻抗( $Z$ )随频率变化趋势

Fig. 2 The complex impedance  $Z$  changing with frequency

### 2.2 苹果贮藏过程中品质变化

随着贮藏期的延长,苹果的品质不断发生变化,由图3可以看出随着贮藏天数的增加苹果糖度不断升高,水分下降,而4℃冷藏下的苹果较常温下贮藏的苹果品质变化缓慢。

### 2.3 苹果贮藏过程中介电参数的变化

介电常数随贮藏天数变化趋势如图4所示。随着贮藏时间的延长,损耗系数呈下降趋势,可能是随着贮藏期的延长果实中所含的自由水分随呼吸作用消耗,淀粉、有机酸、维生素等含量逐渐减少,从而导致苹果中损耗系数下降。

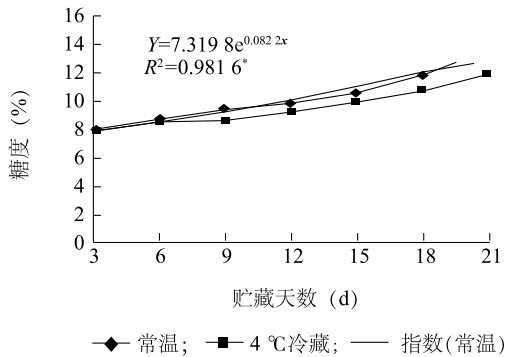


图3 糖度随贮藏天数变化趋势

Fig. 3 Changes of sugar content during storage

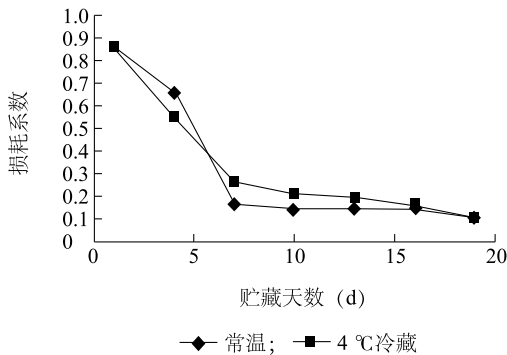


图4 损耗系数随贮藏天数变化趋势

Fig. 4 Changes of loss coefficient during storage

## 2.4 苹果贮藏过程中介电参数与内部品质的相关性

2.4.1 苹果贮藏过程中介电参数与水分含量的相关性 样品的水分含量与介电参数相关性曲线如图5、图6所示。

由图5、图6可以看出,苹果在贮藏期中其内部水分含量与复阻抗、损耗系数表现了明显的相关性,其相关性决定系数分别为0.911 1和0.750 1。

2.4.2 苹果贮藏过程中介电参数与糖度的相关性 苹果含糖量与复阻抗和损耗系数之间的关系如图7、图8所示。

从图7、图8可以看出,糖度与复阻抗相关的决定系数为0.959 3,糖度与损耗系数相关的决定系数为0.749 8,复阻抗与糖度有明显的相关性。

## 2.5 苹果贮藏过程中力学参数的变化

图9是典型苹果穿刺时的力-时间(F-T)曲线。当破裂距离达到B所对应的横坐标值时,苹果外果

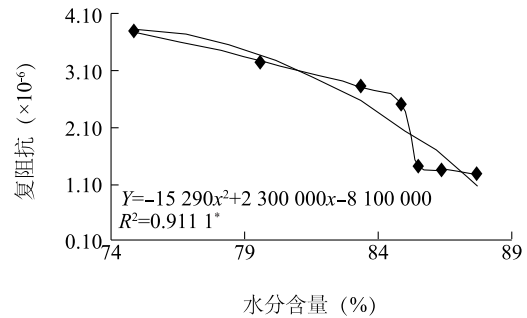


图5 复阻抗随水分变化趋势

Fig. 5 The complex impedance changing with moisture content

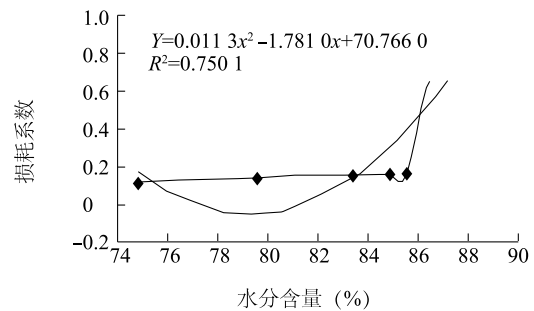


图6 损耗系数随水分变化趋势

Fig. 6 Loss coefficient changing with moisture content

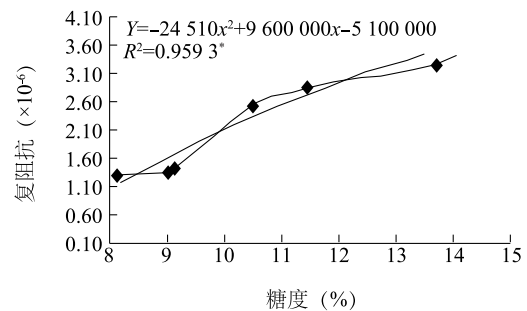


图7 复阻抗随糖度变化趋势

Fig. 7 The complex impedance changing with sugar content

皮被刺破,力急剧下降,此时B点对应的纵坐标值就是所测得的果皮强度<sup>[3]</sup>,对应的横坐标就是果皮的破裂距离,A与B两点的斜率值就是所测的果皮脆性,最后探头进入果实瓢部分,CD段力的平均值即果实坚实度<sup>[4]</sup>。

由图10和图11可以看出,随着贮藏时间的延长,常温下贮藏的苹果表皮强度、表皮脆性明显下降,在温度为4 °C冷藏条件下贮藏的苹果表皮强度、表皮脆性相对常温贮藏下力学指标变化明显要小。

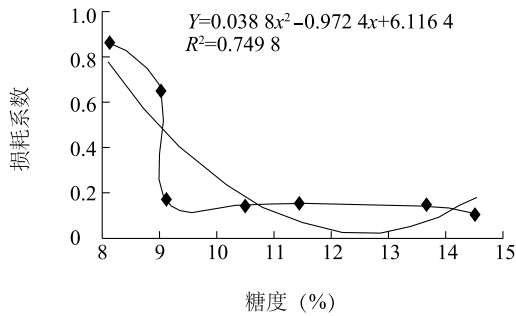


图8 损耗系数随糖度变化趋势

Fig.8 Loss coefficient changing with sugar content

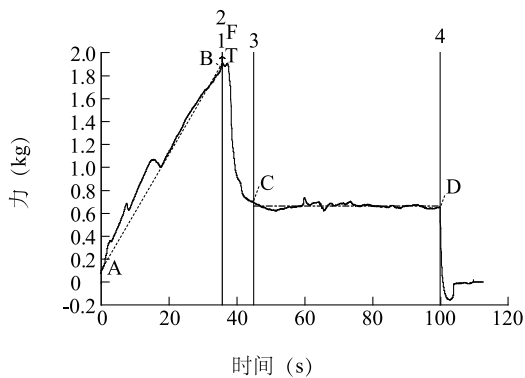


图9 苹果穿刺压缩试验质地特征曲线

Fig.9 Texture character curve of apple in puncture and compression test

可能因为苹果对贮藏温度敏感,温度越高,呼吸消耗越大,后熟过程也越强烈,果皮强度、果皮脆性下降<sup>[5]</sup>。而冷藏能降低呼吸强度,延缓果实的软化进程,减少果瓢褐变,抑制微生物的生长发育,从而延长了苹果的贮藏时间。

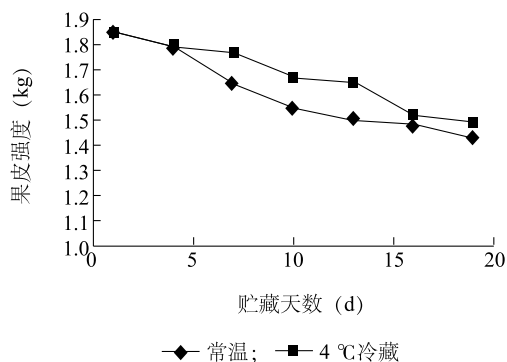


图10 果皮强度随贮藏天数变化趋势

Fig.10 Changes of peel strength during storage

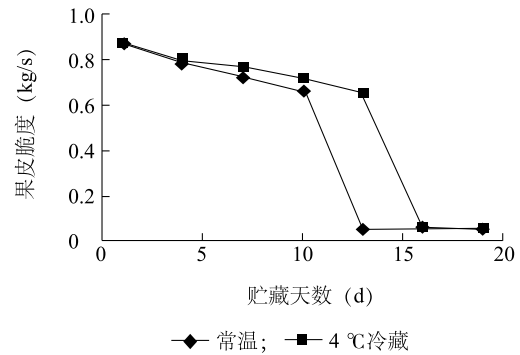


图11 果皮脆度随贮藏天数变化趋势

Fig.11 Changes of peel fragility during storage

## 2.6 苹果贮藏过程中力学参数与内部品质的相关性

### 2.6.1 苹果贮藏过程中力学参数与水分含量的相关性

建立样品的水分含量与力学参数相关性曲线如图12、图13所示。

由图12和图13可知,水分含量与果皮强度相关性的决定系数为0.9016,水分与果皮脆度相关性的决定系数为0.8635。则果皮强度、果皮脆度均与水分含量有明显的相关性,由此可知苹果随着贮藏期的延长水分减少,而水分的减少会影响苹果力学的各项指标<sup>[6]</sup>,从而使果皮强度降低,果皮脆度降低。

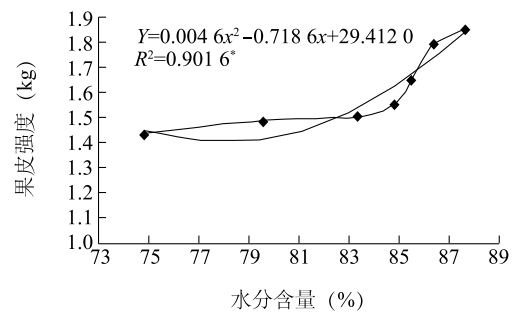


图12 果皮强度与水分含量的相关性

Fig.12 The correlation between peel strength and moisture content

### 2.6.2 苹果贮藏过程中力学参数与糖度的相关性

糖度的大小直接影响着苹果的品质和口感,样品的糖度与力学参数相关性曲线如图14、图15所示。

如图14和图15所示,利用Excel对曲线进行二次方程拟合,糖度与果皮强度相关性的决定系数为

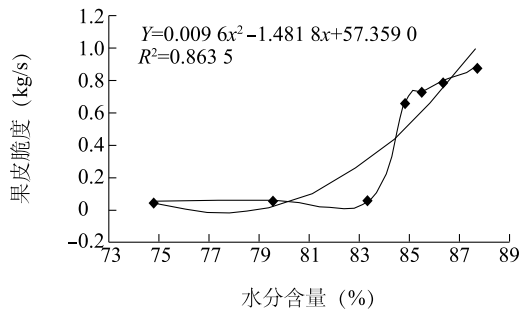


图 13 果皮脆度与水分含量的相关性

Fig. 13 The correlation between peel fragility and moisture content

0.927 3, 糖度与果皮脆度相关性的决定系数为 0.870 8。则果皮强度、果皮脆度均与糖度有明显的相关性,由此可知苹果随着贮藏期的延长水分含量减少,而糖度的升高会影响苹果力学的各项指标,从而使果皮强度和果皮脆度都降低。

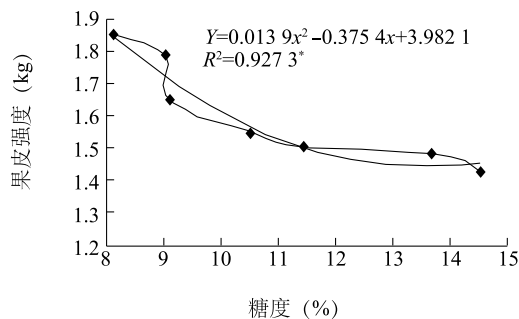


图 14 果皮强度与糖度的相关性

Fig. 14 The correlation between peel strength and sugar content

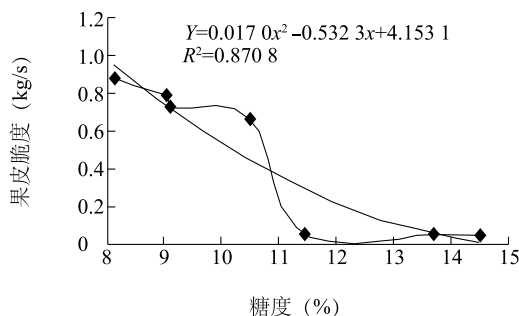


图 15 果皮脆度与糖度的相关性

Fig. 15 The correlation between peel fragility and sugar content

### 3 讨论

依据介电常数检测原理,得出试验的最佳测量电压为 1.0 V,最佳测试频率为 90 kHz;随着贮藏期的延长,苹果的内部品质发生变化,其水分含量呈下降趋势,糖度呈上升趋势;随着贮藏期的延长,苹果的复阻抗有下降的趋势,其中复阻抗与水分含量的决定系数达到了 0.911 1,与糖度的相关性决定系数为 0.959 3,达到显著相关。依据该方法可以实现苹果在贮藏过程中品质变化的无损检测。随着贮藏时间的延长,果皮强度与水分、糖度的决定系数达到 0.901 6、0.927 3,相关性显著。果皮强度、果皮脆性可作为苹果品质变化的重要力学指标。

本试验揭示苹果贮藏过程中理化指标与介电参数和力学特性之间的关系,为苹果的贮藏保鲜甚至无损检测和分级提供科学、客观的评价,具有重要的理论意义和创新性。同时把物性研究与果品贮藏保鲜相联系,具有重要的实际意义。

苹果的成熟、衰老过程要进行呼吸作用,使其内部的成分发生变化,从而引起介电参数及力学参数的变化。本试验已经证明苹果介电参数与贮藏时间、内部品质及力学品质存在相关性,下一步将重点探索建立基于介电特性的苹果内、外部品质无损检测模型。

### 参考文献:

- [1] 柯大观,张立彬,胥芳,等.基于介电特性的水果无损检测系统研究[J].浙江工业大学学报,2002,30(5):446-450.
- [2] 郭文川,郭康权,王乃信.电激励信号的频率和电压对果品电特性的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):62-65.
- [3] 李里特.食品物性学[M].北京:中国农业出版社,2004:283-290.
- [4] 曾一凡,刘春生,孙旭东,等.可见/近红外光谱技术无损检测果实坚实度的研究[J].农业工程学报,2008,24(5):250-252.
- [5] 李赛,贺晓光.同贮藏条件下小玲西瓜果实品质力学特性的比较研究[J].新疆农业大学学报,2011,34(1):36-39.
- [6] 陈克克.水果介电特性与其品质关系的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.

(责任编辑:陈海霞)