

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.09.027

采后失水处理对葡萄电学特性的影响^{*}

刘亚平^{1,2} 刘兴华¹

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 太谷 030801)

【摘要】 为研究采后失水处理对葡萄贮藏过程中电学特性的影响,运用 LCR 电子测量仪测定了冷藏条件下红地球葡萄在 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz 频率下的部分电学参数。结果表明,在同一贮藏时间,未失水处理和经失水处理的红地球葡萄复阻抗 Z 、电抗 X 、电感 L_p 和电阻 R_p 随着测试频率的增加逐渐减小,电纳 B 逐渐增加;损耗角正切值 $\tan\delta$ 、相对介电常数 ξ' 和复阻抗相角 θ 在 0.1 ~ 100 kHz 频率范围内随着频率增加逐渐减小,到 1 MHz 时又有所增加。在 0 ~ 45 d 贮藏期内,随着果实的衰老,采后失水处理使葡萄保持了较高的 Z 、 L_p 、 X 和 R_p 以及较低的 ξ' 和 θ ,对保持果实品质更为有效。

关键词: 葡萄 保鲜 失水处理 电学特性 频率

中图分类号: S183; S663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)09-0143-07

Effect of Postharvest Dehydration on Dielectric Properties of Grape during Cold Storage

Liu Yaping^{1,2} Liu Xinghua¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract

With the aim to investigate the effect of postharvest dehydration on dielectric properties of grape during cold storage, the dielectric parameters of the Red Globe grape were measured at 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz and 1 MHz by using LCR electronic measure instrument, and the results were compared with those of un-dehydrated grape under the same condition. For the un-dehydrated and dehydrated grapes, both of them have the same trends at same storage day: the impedance, reactance, inductance and resistance were all gradually decreased while the susceptance increased with the increase of the frequency; and the loss tangent, dielectric constant and impedance phase angle firstly decreased with the frequency increasing from 0.1 kHz to 100 kHz, and then increased at 1 MHz. Compared with the un-dehydrated grape, the dehydrated one has higher impedance, reactance, inductance, resistance and lower dielectric constant, impedance phase angle during 45 days storage. All the test results show that postharvest dehydration is a more effective way in keeping the quality of grape during cold storage.

Key words Grape, Preservation, Postharvest dehydration, Dielectric properties, Frequency

引言

红地球葡萄果粒大、肉质脆硬、品质优良,较耐

贮藏,是当前国内外主栽的鲜食品种之一。但是果实含水率较高,采收后生命活动活跃,对周围环境因素敏感,在贮藏中极易腐烂,易出现 SO_2 药害和残

收稿日期: 2012-03-26 修回日期: 2012-05-03

^{*} 陕西省科技攻关项目(2007K02-05)

作者简介: 刘亚平,博士生,山西农业大学讲师,主要从事果蔬贮藏及加工研究, E-mail: lyp0357@126.com

通讯作者: 刘兴华,教授,博士生导师,主要从事果蔬贮藏加工技术研究, E-mail: liuxh2830@163.com

留,对人体健康造成危害^[1]。

研究发现,采后适度失水处理对果蔬耐贮藏性有促进作用^[2-4]。目前葡萄保鲜大多要用到 SO_2 制剂,这对人体健康易造成危害。本文对葡萄进行采后轻微失水处理,使果实适度失水后再进行冷藏,以寻找一种可以代替 SO_2 制剂的绿色保鲜葡萄方法,目前国内外相关报道甚少。

果实电学参数与内在品质关系密切,内部品质可以通过对果实电特性的无损检测加以衡量^[5]。本文以红地球葡萄为试材,选取 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz 等 5 个频率,研究 0℃ 冷藏条件下不同贮藏时期失水处理的果实复阻抗、电感、电抗、电阻、损耗角正切值、电纳、相对介电常数和复阻抗相角等电学指标的变化趋势,旨在为这种绿色贮藏方法的可行性提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为红地球葡萄,采自陕西省杨陵区辛集葡萄基地,树龄 4 年,果实成熟时采收,采收当天运回实验室进行处理,对照直接进入冷库进行预冷后用 0.02 mm 厚的聚乙烯薄膜袋包裹放入塑料箱里。失水处理果实置于阴凉处,电扇进行辅助风干,每隔 2 h 称重并计算失重率,经 20 h 当失重率达到 3% 时,将果实转入冷库预冷并包装,每箱 5 kg。所有果实置于 -1 ~ 1℃、相对湿度 85% ~ 90% 的冷库中贮藏。

1.2 测试指标及方法

葡萄电学参数的测试仪器为日本 HIOKI 3532-50 型 LCR 测量仪,测试探头为 9140 型 4 终端探头。测试条件:温度 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,测试电压 1 V,夹持力保持 1.8 N。测试前随机从冷库选取横径一致、无病害和损伤、带果梗的果粒,置于 20℃ 下平衡 8 h,而后再将整个果实横置于平行板电极之间,果实的赤道面与极板贴紧,极板通过导线与 LCR 测量仪相连,测定电学参数。在选取的 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz 等 5 个频率点下,分别于贮藏

第 0、15、30、45 和 60 天测定果实的复阻抗 Z 、电感 L_p 、电抗 X 、电阻 R_p 、电纳 B 、损耗角正切值 $\tan\delta$ 、相对介电常数 ξ' 和复阻抗相角 θ ,重复 10 次。

数据采用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 复阻抗、电感和电抗

从图 1 ~ 3 可以看出,在同一贮藏时间,对照和处理果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 均随频率的增加逐渐减小,其中 1 MHz 下减小幅度较前几个频率要大一些,0.1 kHz 下 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 显著 ($P < 0.05$) 高于其他频率下的数值。对照果实贮藏期间在不同频率下 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 随果实衰老的变化基本相似,呈现不明显的“V”形变化,在 0 ~ 45 d,在 5 个频率下,随着果实衰老, $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 逐渐减小,在贮藏结束时又有小幅度增加。处理果实不同频率下 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 随果实衰老的变化一直呈下降趋势,贮藏结束时下降幅度加剧。在 5 个频率点下,在 0 ~ 45 d 贮藏期内,随着果实衰老,处理果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 高于对照果实,在贮藏至 60 d 时才低于对照,失水处理有助于 Z 、 L_p 和 X 的保持。

不论是对照还是处理果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$,在 5 个频率下随贮藏时间的变化曲线均呈较高的线性,除对照果实 $\lg Z$ 在 1 MHz 与 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 频率间相关性只达到显著外 ($P < 0.05$),处理果实在 $\lg Z$ 、对照和处理果实的 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 5 个频率下随贮藏时间的变化曲线之间的线性相关性均达到极显著 ($P < 0.01$) 水平。同时,对照果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 之间以及处理果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 之间也呈现高相关性,达极显著水平 ($P < 0.01$),这与马海军等^[5]在苹果上的研究相吻合。

在 5 个频率下,处理果实的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 与贮藏时间呈负线性关系,达到极显著水平 ($P < 0.01$),相关系数介于 -0.980 5 ~ -0.950 6 之间,而对照果实只是在 1 MHz 下, $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 和 $\lg X$ 与贮藏时间呈负线性关系,并且只达到显著水平 ($P < 0.05$) (表 1)。

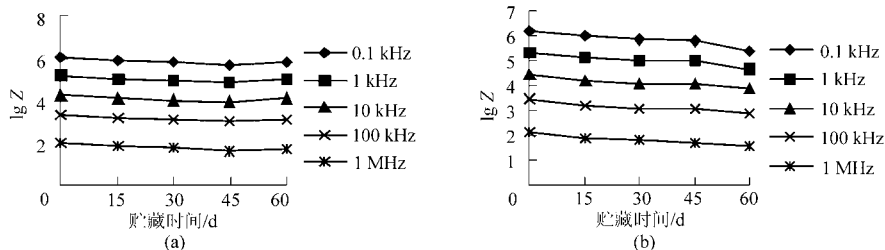


图 1 失水处理对葡萄冷藏中复阻抗的影响

Fig. 1 Effect of dehydration on impedance (Z) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

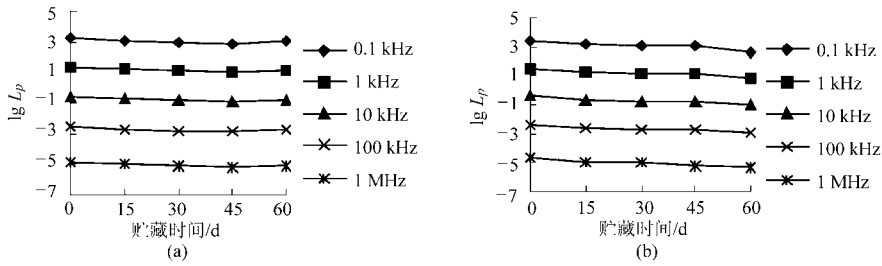


图 2 失水处理对葡萄冷藏中电感的影响

Fig. 2 Effect of dehydration on inductance (L_p) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

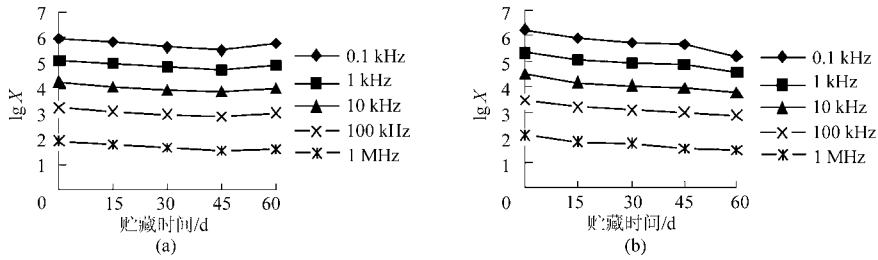


图 3 失水处理对葡萄冷藏中电抗的影响

Fig. 3 Effect of dehydration on reactance (X) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

表 1 葡萄冷藏中电学参数与贮藏时间的回归方程

Tab. 1 Regression equations for dielectric parameters and storage time

频率	回归方程	决定系数	相关系数 r	显著性
0.1 kHz	$y_{\lg Z} = -0.1793t + 6.3960$	$R^2 = 0.9011$	-0.9493	**
	$y_{\lg L_p} = -0.1757t + 3.5963$	$R^2 = 0.9135$	-0.9558	**
	$y_{\lg X} = -0.2297t + 6.4268$	$R^2 = 0.9591$	-0.9793	**
1 kHz	$y_{\lg Z} = -0.1473t + 5.4496$	$R^2 = 0.9215$	-0.9600	**
	$y_{\lg L_p} = -0.1519t + 1.6560$	$R^2 = 0.9327$	-0.9657	**
	$y_{\lg X} = -0.1808t + 5.4797$	$R^2 = 0.9613$	-0.9805	**
处理 10 kHz	$y_{\lg Z} = -0.134t + 4.5163$	$R^2 = 0.9196$	-0.9589	**
	$y_{\lg L_p} = -0.1402t - 0.2771$	$R^2 = 0.9235$	-0.9610	**
	$y_{\lg X} = -0.1581t + 4.5389$	$R^2 = 0.9494$	-0.9744	**
100 kHz	$y_{\lg Z} = -0.1253t + 3.5103$	$R^2 = 0.9036$	-0.9506	**
	$y_{\lg L_p} = -0.1313t - 2.2732$	$R^2 = 0.9052$	-0.9514	**
	$y_{\lg X} = -0.1417t + 3.5123$	$R^2 = 0.9274$	-0.9630	**
1 MHz	$y_{\lg Z} = -0.1361t + 2.1900$	$R^2 = 0.9595$	-0.9795	**
	$y_{\lg L_p} = -0.1405t - 4.5943$	$R^2 = 0.9528$	-0.9761	**
	$y_{\lg X} = -0.1457t + 2.1854$	$R^2 = 0.9592$	-0.9794	**
对照 1 MHz	$y_{\lg Z} = -0.0738t + 1.9666$	$R^2 = 0.7945$	-0.8914	*
	$y_{\lg L_p} = -0.0743t - 4.8291$	$R^2 = 0.7730$	-0.8792	*
	$y_{\lg X} = -0.0819t + 1.9720$	$R^2 = 0.8270$	-0.9094	*

注：t 为贮藏时间，单位为 d；* 表示 $P < 0.05$ ；** 表示 $P < 0.01$ 。

2.2 电阻

从图 4 可以看出，在同一贮藏时间，对照和处理果实的 $\lg R_p$ 随频率增加逐渐减小，只有处理果实第 15 天在 1 MHz 时的数值例外，其中 100 kHz 减小幅

度较前几个频率要大一些，1 MHz 频率下数值波动较大，0.1 kHz 下 $\lg R_p$ 显著 ($P < 0.05$) 高于其他频率下的数值。对照果实在 0.1 kHz、1 kHz 和 10 kHz 频率下 $\lg R_p$ 随果实的衰老呈不明显的“V”形变化，在

45 d达到最低值。处理果实的 $\lg R_p$ 在 0.1 kHz 贮藏至 45 d 时有一个小的高峰出现,结束时下降幅度加剧,在 1 kHz 和 10 kHz 下 $\lg R_p$ 随果实衰老的变化一直呈下降趋势。在 100 kHz,对照和处理 $\lg R_p$ 随着贮藏时间的变化波动下降。在 1 MHz,对照果实呈

快速下降趋势,而处理果实的数值波动明显。在 0.1 kHz、1 kHz 和 10 kHz 3 个频率点下,在 0 ~ 45 d 贮藏期内,随着果实衰老,失水处理果实的 $\lg R_p$ 较高,在贮藏至 60 d 时低于对照果实。

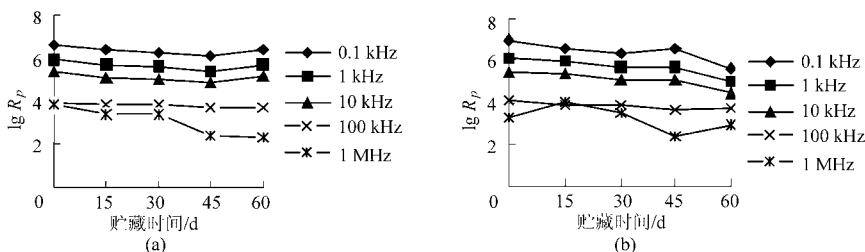


图 4 失水处理对葡萄冷藏中电阻的影响

Fig. 4 Effect of dehydration on resistance (R_p) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

2.3 电纳

从图 5 可以看出,随着果实的衰老,对照和处理果实各频率下 $\lg B$ 均呈现单峰型变化,并且峰值都出现在第 45 天,只是对照果实的峰值小,不明显,处理果实的峰值较大。在 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz 下,对照果实 45 d 的 $\lg B$ 分别只比第 30 天增大了 0.10、0.07、0.05、0.02 和 0.13,而处理果实第 45 天的 $\lg B$ 却分别比第 30 天增大了 9.71、8.65、6.88、4.94 和 2.28,并且随着频率的增加,对照果实增大趋势先减缓后加大,处理果实 $\lg B$ 增大趋势逐渐减缓,但是增大趋势都大于对照果实。

不论对照还是处理果实,在同一贮藏时间,随着频率的增加, $\lg B$ 均逐渐增大,0.1 kHz 下 $\lg B$ 显著 ($P < 0.05$) 低于其他频率下的数值。

2.4 损耗角正切值

$\tan \delta$ 是生物材料在电场作用下,由于介质电导和极化的滞后效应在其内部引起的能量损耗。从图 6 可以看出失水处理和对照果实在贮藏期间 $\tan \delta$ 变化趋势的区别主要体现在贮藏结束时和两个较高频率下。对照果实在 0.1 kHz、1 kHz 和 10 kHz 等 3 个频率下, $\tan \delta$ 呈现“降-升-降”型变化,而处理果实呈现“V”形变化,而在 100 kHz 和 1 MHz 频率下,

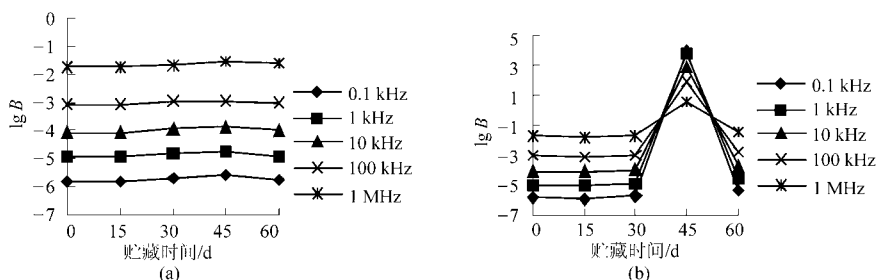


图 5 失水处理对葡萄冷藏中电纳的影响

Fig. 5 Effect of dehydration on susceptance (B) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

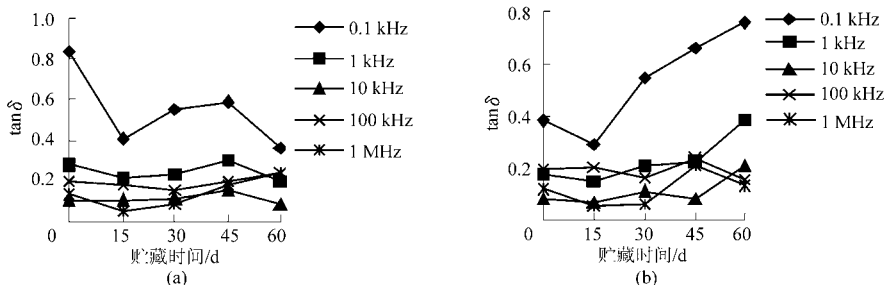


图 6 失水处理对葡萄冷藏中损耗角正切值的影响

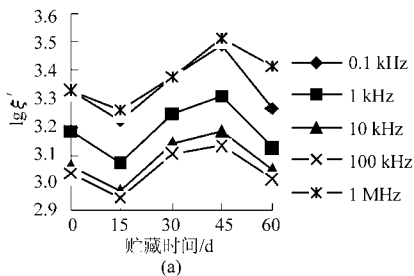
Fig. 6 Effect of water loss on loss tangent ($\tan \delta$) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

对照果实呈现“V”形变化,处理果实呈现“降-升-降”型变化,这与陈志远等^[6]在番茄上的研究相一致。在同一贮藏时间下,从0.1~100 kHz随着频率的增加, $\tan\delta$ 逐渐减小,这与Wang^[7]在苹果和樱桃上的研究结果相吻合。

2.5 相对介电常数

ξ' 可以反映处在电场中的物料对能量的吸收能力。从图7可以看出,同一频率下对照果实 $\lg\xi'$ 随贮藏时间的变化呈“降-升-降”型,处理果实基本呈波浪式增加趋势。在不同贮藏时期,从0.1 kHz、1 kHz、10 kHz到100 kHz,随着频率的增大,对照和处理果实的 $\lg\xi'$ 逐渐减小,从10 kHz到100 kHz减幅较小,频率增大到1 MHz时, $\lg\xi'$ 又突然升高,甚



至超过0.1 kHz下的数值。在0~45 d贮藏期内,随着果实衰老,失水处理果实较之对照有较低的 $\lg\xi'$,在贮藏至60 d时又高于对照果实。

2.6 复阻抗相角

由图8可以看出,在同一贮藏时间下,对照和处理果实随着频率0.1~100 kHz的增加 θ 逐渐减小,1 MHz时又有所增加,但均小于10 kHz下的 θ 值,0.1 kHz下 θ 显著($P < 0.05$)高于其他频率下的数值。对照果实 θ 在各个频率下变化趋势基本相似,随着果实的衰老都呈现波动下降趋势,处理果实的变化则相对复杂,但在贮藏结束时 θ 有明显的增加趋势。在0~45 d贮藏期内,随着果实衰老,失水处理果实 θ 较低,在贮藏至60 d时高于对照果实。

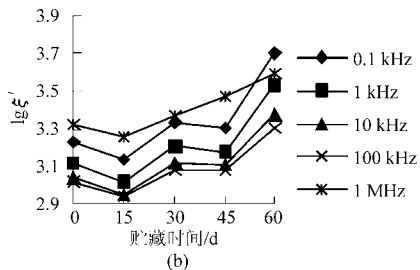


图7 失水处理对葡萄冷藏中相对介电常数的影响

Fig. 7 Effect of dehydration on dielectric constant (ξ') of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

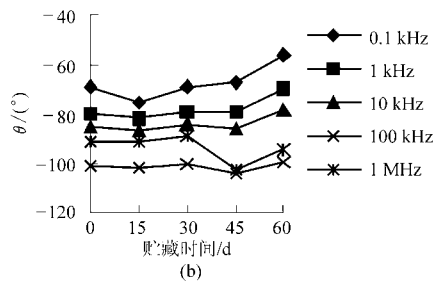
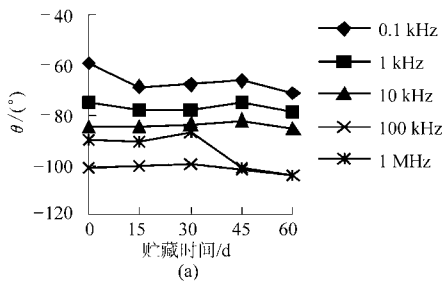


图8 失水处理对葡萄冷藏中复阻抗相角的影响

Fig. 8 Effect of dehydration on impedance phase angle (θ) of grape during storage at different test frequencies

(a) 对照 (b) 处理

3 讨论

果蔬电学特性的影响因子包括频率、含水率、温度、成熟度和有机组成等^[8]。本研究结果表明,不论是对照还是处理果实在电场中的电学特性与电场频率均密切相关。检测频率的高低对红地球葡萄采后电学参数也有明显影响,在同一贮藏时间, Z 、 L_p 、 X 、 R_p 和 $\tan\delta$ 均随着频率的增加逐渐减小, B 值则逐渐增加,0.1 kHz下 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 、 $\lg X$ 、 $\lg R_p$ 和 $\tan\delta$ 显著($P < 0.05$)高于其他频率下的数值。这与周永洪^[9]对火柿、王玲^[10]对‘嘎啦’苹果的研究一致,这是因为当频率由低频逐渐转向高频时,果实内部分子极化程度发生改变,极化类型可能发生变化,从而表现

为电学指标的改变。

另外在低频时,对照和处理果实的 ξ' 和 θ 变化规律基本相似,随着频率的增大,其值减小,至1 MHz时 ξ' 和 θ 反而增大,该现象可由双电层引起的介电损耗效应来解释,果实内部组织的边界层离子形成双电层,在外加电场作用下(0~100 kHz频率范围内)产生介电损耗,外加电场频率达到大约100 kHz时,双电层的损耗效应开始消失,这可能是导致高频下 ξ' 和 θ 升高的原因^[11-13]。目前浆果类中已经有火柿^[9]、番茄^[14]和猕猴桃^[15]等果实电学参数方面的研究报道,这些研究为了解浆果类果实电学特性的变化规律奠定了基础。目前国内的果蔬电学特性研究主要集中在100 Hz~1 MHz范围内

的低频区,且电学指标主要集中在介电常数和阻抗等方面,国外对果实电学特性无损检测的研究则主要集中在高频区 10 MHz ~ 3 GHz^[16]。

不同种类和品种、不同质地的果实在衰老过程中电学参数变化存在差异,可能与果实采后贮藏过程中的生理生化变化有关^[7,17]。葡萄的主要化学成分是可溶性糖、有机酸、淀粉、纤维素、果胶、维生素和酶等,并且在成熟时果肉中含有大量水分。水分可分为自由水和束缚水,自由水比例较大,贮藏过程主要损失这部分水分。而影响果实电学参数变化最主要的因素就是果实内部的自由水^[18-19],贮前失水处理使葡萄果实失去的主要是一部分自由水,适度轻微失水能够适当降低果实呼吸强度^[2],从而降低体内各种生理活动^[3],使处理果实在后续贮藏中蒸腾作用减少,自由水散失速度减慢,从而保持了较高的 Z 、 X 、 L_p 和 R_p 。至贮藏结束时处理果实的 Z 、 X 、 L_p 、 R_p 和 B 等电学参数变化与对照明显不同,呈现相反的变化,是否在贮藏结束时处理果实内部发生了异常的生理生化变化,从而导致了这种差异的发生,尚需进一步探究。

从图 1~8 可以看出,在 0~45 d 贮藏期内,随着果实衰老,采后失水处理使果实保持了较高的 $\lg Z$ 、 $\lg L_p$ 、 $\lg X$ 、 $\lg R_p$ 以及较低的 $\lg \xi'$ 和 θ ,但是经方差分析,这些参数和对照果实相比均未达到显著水平。究其原因,可能是和失水的程度以及方式有很高的相关性。Nelson^[20]发现含水率在微波频率范围内是

影响介电常数的主要因素;秦文^[21]等在研究 60℃ 下热风干燥胡萝卜、葱、蘑菇和生菜等几种新鲜蔬菜时发现,蔬菜电容与水分的变化相似,均随着干燥时间的延长而下降,两者之间存在极显著的线性正相关性;伍凌^[22]等通过研究发现,随着存放时间的延长,富贵竹和吊兰叶片含水率和水势不断减小,叶片的电容值不断减小,电阻不断增大;胥芳^[23]等研究发现桃子的含水率变化与电特性存在较强的相关性,桃子的最佳测试频段在 15 kHz 以下,此时桃子随着贮藏时间的增加,等效阻抗增大而相对介电常数和介质损耗因数减小。果实经过失水处理以后,内部结构会产生变化,内部物质产生移位,宏观电特性因而也产生变化。本文是对果穗进行失水预处理,推测在处理过程中主要是穗轴和果梗失水比重较大,果粒失水比重尚未达到理想水平。也可能是由于果粒失水过程中内部自由水转化为结合水的比例的原因^[24],处理果实虽然在电学参数上与对照果实有差异,但没有达到显著水平。

4 结束语

对经采后失水处理的红地球葡萄果实在冷藏中的电学参数进行了研究,在 0.1 kHz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 和 1 MHz 频率下,0~45 d 贮藏期内,采后失水处理使红地球葡萄果实保持了较高的复阻抗、电感、电抗和电阻以及较低的相对介电常数和复阻抗相角,较好地保持了果实品质。

参 考 文 献

- 李桂峰,刘兴华. 仿生膜对轻度加工葡萄自由基和保护酶的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(7):230~234.
Li Guifeng, Liu Xinghua. Effects of mimetic biomembrane on free radical and protective enzymes of lightly processed grapes [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 230~234. (in Chinese)
- 刘兴华,陈维信. 果品蔬菜贮藏营销学[M]. 北京:中国农业出版社,2008:48.
- 段振军,鲁周民,丛永亮,等. 失水程度对板栗贮藏中部分生理指标的影响[J]. 制冷学报,2008,29(3):58~61.
Duan Zhenjun, Lu Zhoumin, Cong Yongliang, et al. Effect of dehydration degree on physiological indicators of chestnut during storage [J]. Journal of Refrigeration, 2008, 29(3): 58~61. (in Chinese)
- 修德仁,胡云峰. 葡萄贮运保鲜实用技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:4.
- 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):97~102.
Ma Haijun, Song Changbing, Zhang Jishu, et al. Influence of frequency of electrification signal on dielectric property of Fuji apples with red dot disease [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 97~101. (in Chinese)
- 陈志远,张继澍,刘亚龙,等. 番茄成熟度与其电学参数关系的研究[J]. 西北植物学报,2008,28(4):826~830.
Chen Zhiyuan, Zhang Jishu, Liu Yalong, et al. Relationships between tomato maturity and dielectric parameters [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(4): 826~830. (in Chinese)
- Wang S, Tang J, Johnson J A, et al. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments [J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(2): 201~212.
- Ahmed J, Ramaswamy H S, Raghavan G S V. Dielectric properties of Indian Basmati rice flour slurry [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1125~1133.
- 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.

- Zhou Yonghong, Huang Sen, Zhang Jishu, et al. Study on the postharvest dielectric property persimmon fruit [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(4): 117 ~ 122. (in Chinese)
- 10 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.
Wang Ling, Huang Sen, Zhang Jishu, et al. Electric properties of ‘Gala’ apple fruit quality [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(2): 402 ~ 407. (in Chinese)
- 11 Harker F R, Elgar H J, Watkins C B, et al. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 19(2): 139 ~ 146.
- 12 Cole K S. Membranes, ions and impulses: a chapter of classical biophysics [M]. Berkeley: University of California Press, 1972.
- 13 王瑞庆, 张继澍, 马书尚, 等. 基于电学参数的货架期红巴梨无损检测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 243 ~ 247.
Wang Ruiqing, Zhang Jishu, Ma Shushang, et al. Nondestructive determination of the quality of Red Bartlett pear during shelf-life by electrical characteristics [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 243 ~ 247. (in Chinese)
- 14 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.
Guo Wenchuan, Guo Kangquan, Zhu Xinhua. Application of dielectric properties in identifying species of tomatoes and apples [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 130 ~ 132. (in Chinese)
- 15 唐燕, 杜光源, 张继澍. 猕猴桃贮藏期电参数和生理参数的变化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 127 ~ 133.
Tang Yan, Du Guangyuan, Zhang Jishu. Change of electric parameters and physiological parameters of Kiwi of storage period [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 127 ~ 133. (in Chinese)
- 16 Nelson S O. Dielectric properties of some fresh fruits and vegetables at frequencies of 2.45 to 22 GHz [J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(2): 613 ~ 616.
- 17 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 ~ 60.
Xu Fang, Ji Shiming, Zhang Libin, et al. Nondestructive inspection of dielectric property of fruit and its application in classifying fruit quality [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(2): 53 ~ 60. (in Chinese)
- 18 柯大观, 张立彬, 胥芳. 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.
Ke Dagan, Zhang Libin, Xu Fang. Study of fruit nondestructive detection system based on dielectric properties [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2002, 30(5): 446 ~ 450. (in Chinese)
- 19 胡芳, 马书尚, 侯大光, 等. 甜柿采后生理特性及对 1-MCP 处理的反应[J]. 西北植物学报, 2007, 27(3): 571 ~ 576.
Hu Fang, Ma Shushang, Hou Daguang, et al. Ripening behavior of sweet persimmon fruit with 1-MCP treatment [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 571 ~ 576. (in Chinese)
- 20 Nelson S O, Forbus W R, Lawrence K. Permittivity of fresh fruits and vegetable at 0.2 to 20 GHz [J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1994, 29(2): 81 ~ 93.
- 21 秦文, 陈宗道, 羽仓羲雄, 等. 食品的介电特性在食品干燥过程中的在线无损检测技术[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 52 ~ 56.
Qin Wen, Chen Zongdao, Yoshio Hugura, et al. A study of using food electric properties as a non destructive and continuous measurement in a drying process [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(8): 52 ~ 56. (in Chinese)
- 22 伍凌, 郭文川, 徐杰. 植物电信息与生理信息的试验研究[J]. 农机化研究, 2007, 3: 136 ~ 138.
Wu Ling, Guo Wenchuan, Xu Jie. Experimental research on plant electrical properties and physiological properties [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 3: 136 ~ 138. (in Chinese)
- 23 胥芳, 张立彬, 周国君, 等. 无损检测桃子电特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 202 ~ 205.
Xu Fang, Zhang Libin, Zhou Guojun, et al. Experiment research on the dielectric properties of peaches using the nondestructive measurement method [J]. Transactions of the CSAE, 1997, 13(1): 202 ~ 205. (in Chinese)
- 24 Sipahioglu O, Barringer S A. Dielectric properties of vegetables and fruits as a function of temperature, ash, and moisture content [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1): 234 ~ 239.