

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.11.020

100 Hz ~ 3.98 MHz 下苹果虎皮病果实电特性研究*

马海军^{1,2} 冯 美² 张继澍¹

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨凌 712100; 2. 宁夏大学农学院, 银川 750021)

【摘要】 为了研究富士苹果虎皮病果实电特性的变化规律,探讨利用电特性参数的变化来反映苹果内部的物理化学变化,运用 LCR 型电子测量仪测定了 100 Hz ~ 3.98 MHz 频率、(20 ± 1)℃ 恒温条件下贮藏 1、8、15、22 和 29 d 的虎皮病果实复阻抗、电抗、电导、电容和介质损耗系数等电学参数。结果显示:在同一贮藏时间下,随着频率的增加,果实的复阻抗、电抗值在减小,电导值则在增加;而电容和果实的介质损耗系数变化则没有规律性。统计分析显示,感病果实和正常果实电容值存在极显著差异($P < 0.01$)。结果表明:电容值基本可以正确反映苹果的实际品质情况。

关键词: 苹果 虎皮病 电特性

中图分类号: S183; S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)11-0105-05

Dielectric Properties of Fuji Apple Superficial Scald in the
100 Hz ~ 3.98 MHz Range

Ma Haijun^{1,2} Feng Mei² Zhang Jishu¹

(1. College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi 712100, China

2. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract

The change law of dielectric properties on Fuji apple superficial scald which stored at constant temperature was investigated. The mechanisms that reflected internal quality of fruit using dielectric properties were discussed so as to provide a new theoretical basis for nondestructive inspection and research methods to distinguish between diseased and normal fruits based on electrical properties. The fruits' dielectric properties, which embraced the impedance, reactance, conductance, capacitance and loss coefficient, were determined with going up frequency from 100 Hz to 3.98 MHz at (20 ± 1)℃ by applying LCR electronic measure instrument. The results showed that with the frequency increasing, fruit impedance and reactance were decreased; the capacitance and dielectric loss coefficient were changed irregularly, while the conductance was increased in spiral form under same storage times. There was a significantly positive correlation between impedance and reactance, the value of capacitance were significantly different ($P < 0.01$) between the diseased and normal fruits from 100 Hz to 3.98 MHz. The research revealed that the capacitance could reflect the quality of apples in some extent.

Key words Apples, Superficial scald, Dielectric properties

引言

虎皮病(superficial scald)是苹果和梨贮藏中在

其表皮出现褐色或黑色的斑点或斑块的一种生理性病害,从贮藏冷库中取出会加速该病的恶化,从而使果品失去食用和商业价值^[1~3]。研究虎皮病果实贮

收稿日期: 2010-02-03 修回日期: 2010-03-17
* 国家自然科学基金资助项目(30471001)
作者简介: 马海军,博士生,宁夏大学助理研究员,主要从事植物衰老和采后生理及分子生物学研究, E-mail: mahaijun04@yahoo.cn
通讯作者: 张继澍,教授,博士生导师,主要从事果树生理研究, E-mail: jishu@nwsuaf.edu.cn

藏时期电学特性的变化,对于揭示果实采后衰老的生物物理变化机理、丰富果实采后生理学的研究内容等均具有理论意义,而且对比正常果的电学特性变化也有助于从电特性角度来揭示虎皮病病害发病的内在机制。目前对虎皮病的研究主要集中在对其发病机理^[4~7]及病害发展的控制方面^[8~12],尚未见对虎皮病电特性方面的研究报道。本文选用富士苹果虎皮病果实为试材,研究贮藏1、8、15、22和29 d果实电参数值的变化,探讨利用电特性参数的变化来反映苹果内部的物理化学变化,为从电特性角度揭示虎皮病病害的内在机制提供理论参考。

1 试验

1.1 材料与处理

供试苹果品种为富士,采自陕西省白水试验农场,树龄7年生,果实成熟时采收,采后当天运回西北农林科技大学实验室,挑选大小均匀、成熟度一致、无机械伤和病虫害的果实供试验用。试验用果实硬度为 (9.16 ± 0.50) kg/cm²,可溶性固形物含量为 (15 ± 0.50) %。果实均用81.5 cm×61.5 cm(长×宽)聚乙烯薄膜袋(厚度为0.02~0.03 mm)包裹后分别放入纸箱内,置于 (1 ± 0.5) ℃、相对湿度85%~95%的冷库内贮藏。贮藏6个月后从冷库内取出,置于 (20 ± 1) ℃恒温、相对湿度80%~85%的室内贮藏以诱发虎皮病,并以同一天发病的果实为试验用果,再选取正常果作为对照,继续置于上述室温环境下贮藏。其中,病果和正常果各设3组重复,病果每组重复用果6个,正常果为10个,总计用果48个。上述各个果实进行标记并于1、8、15、22和29 d分别测定标记果各电学参数指标,取平均值为各电参数指标的终值。

1.2 电参数测定方法

电参数测定用日本日置3532-50 LCR型电子测量仪,通过平行板电极系统进行在线无损检测。仪器测试频率为42 Hz~5 MHz,实际检测频率为100 Hz~3.98 MHz。测试夹具为仪器自带的9140-4型终端测试夹具。测试条件:温度为 (20 ± 1) ℃,夹持压力恒定为3.5 N,施加电压恒为1 V。

1.3 数据处理

测定数据用SAS(V8.0)统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 果实复阻抗 Z 和电抗 X

Z是指由电阻、电容和电感组成的生物体等效复合电路中电阻与电抗的总和。从图1(图中数字前加“CK”代表正常果,未加标示的代表病果,以下

各图与此相同)中可看出,病果和对照果在贮藏期间果实Z的变化趋势一致,在各个贮藏期果实的Z都是随着频率f的增大在逐渐减小,其中在100 Hz~251 kHz之间,果实Z下降比较快,但在251 kHz~3.98 MHz之间,果实Z下降比较平缓。以贮藏8 d的病果为例,在100 Hz~250 kHz之间,果实Z降幅为50.33%,在251 kHz~3.98 MHz之间,果实Z降幅则为40.34%。对贮藏1 d的病果和正常果、以及贮藏8、15、22和29 d的病果和正常果进行方差分析结果显示,两者差异均未达显著水平($P>0.05$)。通过线性拟合发现,不同贮藏期(1、8、15、22和29 d)病果果实lgZ与lgf均有很好的线性关系,斜率分别为-0.81、-0.99、-0.68、-0.95和-0.74, R^2 均大于0.95,以29 d为例,其拟合的线性方程为: $lgZ = 6.77 - 0.74lgf$ 。

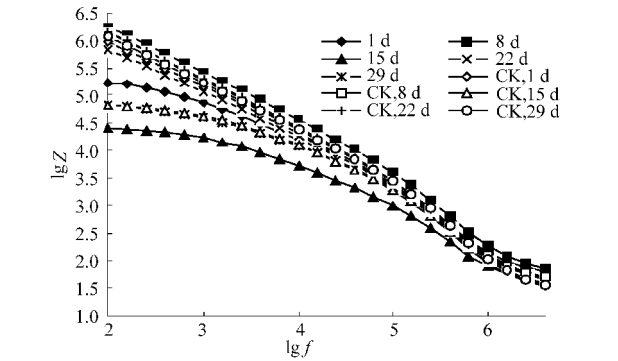


图1 贮藏期间果实复阻抗的变化
Fig.1 Impedance of fruits during storage period

X反映的是生物体等效复合电路中电容及电感对电流的阻碍作用。与果实的Z相比,病果和正常果的X变化和Z变化的趋势极为类似(图2)。对各贮藏期病果Z和X进行相关分析显示, R^2 均达到0.99,达极显著水平($P<0.0001$)。各贮藏期的病果和正常果X差异均未达显著水平($P>0.05$)。

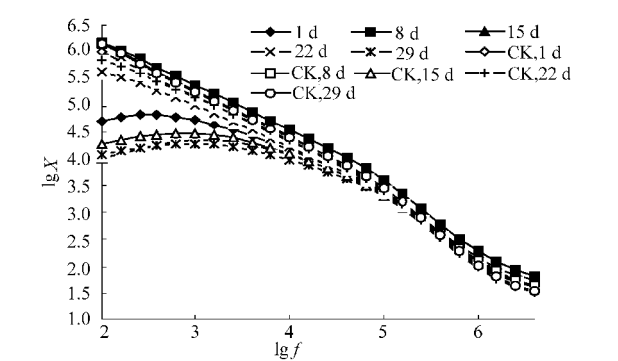


图2 贮藏期间果实电抗的变化
Fig.2 Reactance of fruits during storage period

2.2 果实电导 G

电导是反映电介质传输电流能力强弱的参数,与生物体的电导率以及几何形状和尺寸有关。从

图 3 可看出,病果和正常果的电导值在贮藏期间都呈螺旋上升趋势。贮藏期相同的病果与正常果相比,其第 1 个拐点的频率都比正常果高,而正常果的第 2 个拐点都为 39.8 kHz,病果的第 2 个拐点集中在 100 kHz 附近。对贮藏 1 d 的病果和正常果,以及贮藏 8、15、22 和 29 d 的病果和正常果进行方差分析结果显示,病果和正常果 G 只在 29 d 时差异达到极显著($P < 0.01$),其他各贮藏期差异均未达极限值水平($P > 0.05$)。

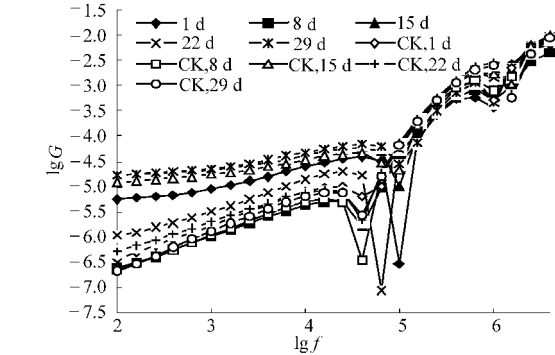


图 3 贮藏期间果实电导的变化

Fig. 3 Conductance of fruits during storage period

2.3 果实电容 C_p

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。如图 4 所示,在不同的贮藏期,随着频率的增加,虎皮病和对照 C_p 的变化均呈现降-升-降趋势。对病果而言,在 0.1 ~ 100 kHz 和 1 ~ 3.98 MHz 间其 C_p 呈下降趋势,而正常果的 C_p 则在 0.1 ~ 63.1 kHz 和 1.58 ~ 3.98 MHz 间呈下降趋势。与正常果相比,在 63.1 kHz 之前,病果的 C_p 降幅更大,以贮藏 29 d 的果实为例,病果降幅为 10.69%,而正常果仅为 7.40%。不论病果还是正常果,在同一频率下,随着贮藏期的延长,其电容值变化比较复杂。对贮藏 1 d 的病果和正常果,以及贮藏 8、15、22 和 29 d 的病果和正常果进行方差分析结果显示,两者差异均达极限值水平($P < 0.01$)。

2.4 果实介质损耗系数 D

D 是生物材料在电场作用下,由于介质电导和介质极化的滞后效应,在其内部引起的能量损耗。从图 5 可以看出,在不同的贮藏期,随着频率的增加,虎皮病病果和正常果 D 的变化均呈“W”形变化趋势。对于病果,只有贮藏 8 d 和 22 d 果实的损耗系数对数值为负值,而正常果,其贮藏 1、8、22 和 29 d 的果实其损耗系数的对数值均为负值。病果因其不同时期果实所处状态不同,因而其介质损耗系

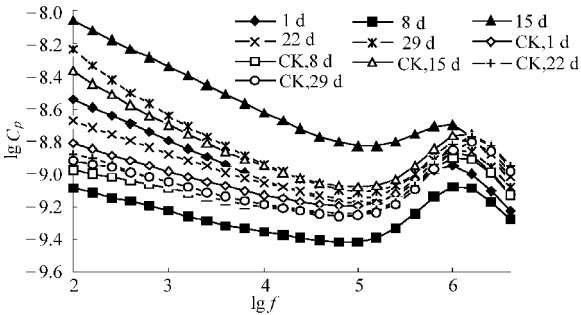


图 4 贮藏期间果实电容的变化

Fig. 4 Capacitance of fruits during storage period

数两个最小值出现的频率也不同,而正常果因在 1 个月之内其果实内在状态变化不大,其介质损耗系数两个最小值出现的频率都相对集中在 39.8 kHz 和 1.58 MHz。从图中可以看出,不论病果还是正常果,其第 1 个峰值均出现在 398 kHz。对贮藏 1 d 的病果和正常果,以及贮藏 8、15、22 和 29 d 的病果和正常果进行方差分析结果显示,病果和正常 D 只在 29 d 时差异达到极显著($P < 0.01$),其他各贮藏期差异均未达极限值水平($P > 0.05$)。

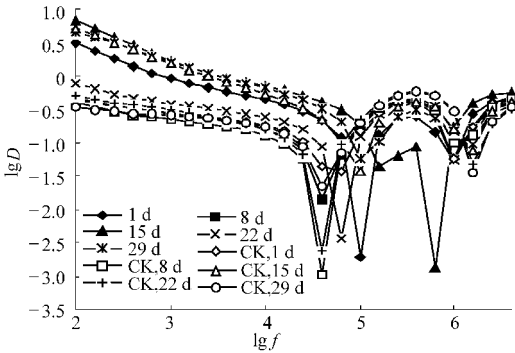


图 5 贮藏期间果实介质损耗系数的变化

Fig. 5 Dielectric loss coefficient D of fruits during storage period

3 讨论

就物质的电特性而言,导体和绝缘体是两种极限情况。在实际情况中,大多数水果并不属于导体或绝缘体这两种极限情况,而是介于其间。水果具有弱导电性,当水果两端加载某一正弦交流电压时,其电特性就会表现出来。影响水果电学特性的因素很多,包括频率、温度、果品含水率、成熟度和有机组成等^[13]。本文是在恒温、果实含水率变化较小的保湿状态下测定的(贮藏结束时的果实失重率在 5.43% 以下)。因而,试验中果实电特性的变化主要是由频率和果实有机组成的变化而引起的,即电特性的变化主要反映了果实贮藏不同时间内部有机组成的变化。

从文中分析可看出,果实 X 与 Z 的关系极为密

切,两者间存在着极高的线性关系,对频率的依从度很高,而且在不同的贮藏期,随着频率的增加,果实的 Z 和 X 均在减小,这与文献[14~18]所得结果类似。研究中发现,在低频下(频率小于39.8 kHz),随着频率的增加,果实 G 呈现上升趋势,而果实 C_p 和 D 则呈现下降趋势,这与文献[19~21]的研究结果类似。在低频下(频率小于39.8 kHz)时,病果的 G 、 C_p 和 D 均大于同频率下的正常果,这与文献[22~23]在苹果上的研究结论相吻合。果实的电参数出现以上结果的原因,一方面是因为在低频下,细胞膜容抗较大,交流电只能通过细胞壁。随着频率的增加,细胞膜的容抗降低,交流电就能够通过整个原生质体^[18,24]。另一方面,对于采收后的苹果而言,它仍然进行着体内物质消耗的呼吸代谢。当其果实感染病菌后,随着病害的发展,其细胞、细胞壁(膜)、细胞液的几何形状、化学成分、浓度、生理特性及局部介电性质等均会发生变化,从而使植物组织的电物性发生相应的变化。而且果实的呼吸代谢消耗也会伴随着一些与之相关的化学、物理和生化变化。刚采收后的病果和正常果,其细胞壁、细胞膜较厚,离子通透性差,因此 Z 、 X 和 C_p 很大, G 较小。当细胞活性降低,一方面造成细胞壁、细胞膜溶解、变薄,使其离子通透性增加, G 增加, Z 、 X 和 C_p 降低。另一方面,由于细胞水分减少,又造成细胞液中导电离子移动阻力增大,使其 Z 和 X 升高。这两种过程共同影响着植物体的导电能力,当前者影响大于后者时 Z 和 X 下降,反之则 Z 和 X 上升。上述

原因使得果实的 G 、 C_p 和 D 呈现曲折变化。

水果的内部品质表示水果内部的生理、化学和物理性质。水果作为生物体由生物组织组成,从微观结构角度观察,其内部存在大量带电粒子形成生物电场,水果在生长、成熟、受损以及腐烂变质过程中的生物化学反应将伴随物质能量的转化,导致生物组织内各类化学物质所带电荷量及电荷空间分布的变化,生物电场的分布和强度,从宏观上影响水果的介电特性^[25~26]。从文中对病果和正常果的分析可以看出,两者在 C_p 间的差异达到了极显著水平。究其原因,是因为相对于正常果实,病果果实随着病害的继续蔓延,因果实内亚细胞结构改变和解体发生的细胞内自溶作用,整个代谢系统解体乃至最后原生质膜的破坏比健康果实快很多,而各电学参数的主要影响因子就是电阻比较大的薄细胞膜,因而在电学参数方面,病果和正常果表现出明显的差异。

4 结束语

从理论上,水果果实属于电介质,水果的生理变化伴随着电介质特征参数的变化,而这一变化可以通过宏观电特性参数加以显示,例如复阻抗 Z 、电抗 X 、电导 G 、电容 C_p 和介质损耗系数 D 等。试验表明,在同一贮藏期下,随着频率的增加,果实的 Z 和 X 在减小, G 则在增加;果实的 Z 和 X 间存在强烈的相关关系;感病果实和正常果实各电参数变化趋势一致,但数值有很大不同,而且在参数 C_p 间存在明显差异。结果显示可以用 C_p 来区分感病果实。

参 考 文 献

- 1 Taehyun Ahn, Gopinadhan Paliyath, Dennis P Murr. Antioxidant enzyme activities in apple varieties and resistance to superficial scald development[J]. Food Research International, 2007, 40(8): 1 012 ~ 1 019.
- 2 Emongor V E, Murr D P, Loughed E C. Preharvest factors that predispose apples to superficial scald[J]. Postharvest Biology and Technology, 1994, 4(4): 289 ~ 300.
- 3 Seok-Kyu J, Chris B W. Superficial scald control after delayed treatment of apple fruit with diphenylamine (DPA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(1): 45 ~ 52.
- 4 胡小松,肖华志,王晓霞. 苹果 α -法尼烯和共轭三烯含量变化与贮藏温度的关系[J]. 园艺学报,2004,31(2): 169 ~ 172.
Hu Xiaosong, Xiao Huazhi, Wang Xiaoxia. Contents of α -farnesene and conjugated trienes in apple superficial scald and their relation with storage temperature[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2004,31(2): 169 ~ 172. (in Chinese)
- 5 胡小松,闫师杰,肖华志,等. “AU”涂被处理对红星苹果果皮 α -法尼烯和共轭三烯含量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005,31(9):100 ~ 102.
Hu Xiaosong, Yan Shijie, Xiao Huazhi, et al. Study on the effect of “AU” edible coating on the contents of α -farnesene and conjugated trienes in “Red Delicious” apple[J]. Food and Fermentation Industries, 2005,31(9):100 ~ 102. (in Chinese)
- 6 苑克俊,刘庆忠,李勃,等. 苹果 α -法尼烯合酶基因组结构和序列的多态性分析[J]. 园艺学报,2007,34(4):1 003 ~ 1 006.
Yuan Kejun, Liu Qingzhong, Li Bo, et al. Genomic organization and sequence polymorphism of E, E- α farnesene synthase gene in apples[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007,34(4): 1 003 ~ 1 006. (in Chinese)
- 7 Ahn T, Paliyath G, Murr D P. Antioxidant enzyme activities in apple varieties and resistance to superficial scald development [J]. Food Research International, 2007, 40(8): 1 012 ~ 1 019.

- 8 Zanella A. Control of apple superficial scald and ripening a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 27(1): 69 ~ 78.
- 9 Jemric T, Lurie S, Dumija L, et al. Heat treatment and harvest date interact in their effect on superficial scald of ‘Granny Smith’ apple[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107(2): 155 ~ 163.
- 10 Whitaker B D, Villalobos A M, Mitcham E J, et al. Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in ‘Bartlett’ pears grown in California and Washington[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 53(1 ~ 2): 43 ~ 50.
- 11 Jung S K, Watkins C B. Superficial scald control after delayed treatment of apple fruit with diphenylamine (DPA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 50(1): 45 ~ 52.
- 12 Rudell D R, Mattheis J P. Superficial scald development and related metabolism is modified by postharvest light irradiation [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 51(2): 174 ~ 182.
- 13 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.
- 14 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 Daguan, Zhang Libin, Xu Fang. Study of a fruit non-destructive detection system based on dielectric properties[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2002, 30(5): 446 ~ 450. (in Chinese)
- 15 郭文川, 朱新华, 周闯鹏, 等. 西红柿成熟度与电特性关系的无损检测研究[J]. *农业现代化研究*, 2002, 23(6): 458 ~ 460.
Guo Wenchuan, Zhu Xinhua, Zhou Chuangpeng, et al. Non destructive research on the relationship between tomato's maturity and dielectric properties[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, 23(6): 458 ~ 460. (in Chinese)
- 16 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.
Ye Qizheng, Yao Honglin, Li Li, et al. A method for measuring maturity according to the feature frequency of resistance of post-harvest fruits[J]. *Plant Physiology Communications*, 1999, 35(4): 304 ~ 307. (in Chinese)
- 17 马海军, 宋长冰, 张继澍, 等. 电激励信号频率对红点病果采后电学特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(10): 97 ~ 101.
Ma Haijun, Song Changbing, Zhang Jishu, et al. Influence of frequency of electric excitation 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)
- 18 Wu L, Ogawa Y, Tagawa A. Electrical impedance spectroscopy analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing-thawing treatments on its impedance characteristics[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 87(2): 274 ~ 280.
- 19 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)
- 20 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 properties of persimmon fruit[J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed.*, 2008, 36(4): 117 ~ 122. (in Chinese)
- 21 王瑞庆, 张继澍, 马书尚. 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. 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)
- 22 Kato K. Nondestructive measurement of fruits quality by electrical impedance (part 1)[J]. *Research Report on Agricultural Machinery*, 1987, 17(1): 51 ~ 68.
- 23 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.
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 ~ 56. (in Chinese)
- 24 Bauchot A D, Harker F R, Arnold W M. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of Kiwifruit[J]. *Postharvest Biological Technology*, 2000, 18(1): 9 ~ 18.
- 25 胥芳, 张立彬, 计时鸣, 等. 基于介电特性的水果品质无损检测方法研究[J]. *浙江工业大学学报*, 2001, 29(3): 230 ~ 234.
Xu Fang, Zhang Libin, Ji Shiming, et al. Nondestructive inspection method for fruit quality based on dielectric property of fruit[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2001, 29(3): 230 ~ 234. (in Chinese)
- 26 Damez J L, Clerjon S, Abouelkaram S, et al. Dielectric behavior of beef meat in the 1 ~ 1 500 kHz range: simulation with the fricke/cole-cole model[J]. *Meat Science*, 2007, 77(4): 512 ~ 519.