

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.023

猕猴桃贮藏期电参数和生理参数的变化\*

唐燕<sup>1</sup> 杜光源<sup>2</sup> 张继澍<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学生命学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学理学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】以室温(20℃)贮藏的“秦美”猕猴桃为研究材料,在贮藏期间获取果实复阻抗、并联等效电容和阻抗相角值的同时,同步测定果实硬度等12个生理参数。结果表明,猕猴桃复阻抗在贮藏末期显著下降,并联等效电容在贮藏末期显著上升。随着贮藏时间的延长,果实的硬度、可滴定酸质量浓度都呈下降趋势,可溶性固形物含量、相对电导率呈上升趋势,淀粉、纤维素质量比的减小与果实硬度的下降呈正相关。在特征频率0.1 kHz下,复阻抗可量化硬度等8个生理参数,阻抗相角可量化5个生理参数,在特征频率1 MHz和1.58 MHz频率下,并联等效电容可量化6个生理参数。

关键词: 猕猴桃 贮藏 电参数 生理参数 特征频率

中图分类号: S183 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)01-0127-07

Change of Electric Parameters and Physiological Parameters  
of Kiwi of Storage Period

Tang Yan<sup>1</sup> Du Guangyuan<sup>2</sup> Zhang Jishu<sup>1</sup>

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

2. College of Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

‘Qinmei’ kiwifruit was used to investigate the change of electric properties and physiological parameters with the extension of storage time under the condition of storage at 20℃. Complex impedance ( $Z$ ), parallel equivalent capacitance ( $C_p$ ) and impedance angle ( $\theta$ ) three electrical parameters and 12 physiological parameters of fruits such as firmness were measured synchronously. The results showed that the  $Z$  of Kiwi dropped significantly on the late period of storage,  $C_p$  increased significantly on the late period of storage. Firmness and total acid (TA) of fruits were increased and total soluble sugar (TSS) was decreased with the extension of storage time. The reducing of content of starch and cellulose was positively correlated with the declining of fruit firmness.  $Z$  can quantify eight physiological parameters such as firmness of fruits, impedance angle ( $\theta$ ) can quantify five physiological parameters in the characteristic frequency of 0.1 kHz.  $C_p$  can quantify six physiological parameters in the characteristic frequency of 1 MHz and 1.58 MHz.

**Key words** Kiwifruits, Storage, Electric parameters, Physiological parameters, Characteristic frequency

引言

关于果品介电特性的研究越来越受到人们的关

注,所开展的研究也在不断地深入和完善。探索果实电学特性与果实内在品质关系的研究取得了一定的进展,研究涉及的电参数主要有介电常数和损耗

收稿日期: 2011-05-05 修回日期: 2011-06-20

\* 国家自然科学基金资助项目(30471001)

作者简介: 唐燕,讲师,主要从事果实采后生理及无损检测研究,E-mail: tangyanyan1155@163.com

通讯作者: 张继澍,教授,博士生导师,主要从事采后果实衰老机理及其调控研究,E-mail: jishu@nwsuaf.edu.cn

角正切值,果实品质方面主要涉及到可溶性固形物含量、酸度和含水率等几个指标,关于苹果果实介电特性的研究较多<sup>[1~3]</sup>,而对猕猴桃果实的研究很少<sup>[4]</sup>。本文以“秦美”猕猴桃为研究对象,研究果实复阻抗、并联等效电容和阻抗相角 3 个电学指标与果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、淀粉酶活性、原果胶质量比、纤维素质量比、果胶酯酶活性、多聚半乳糖醛酸酶活性、纤维素酶活性、木聚糖酶活性共 12 个生理指标随不同贮藏时间的变化规律,为揭示“秦美”猕猴桃果实成熟衰老过程中电学参数与果实内部各项生理指标之间的关系积累数据。

1 试验材料与方法

1.1 材料

以猕猴桃品种“秦美”( *Actinidia deliciosa* cv. *Qinmei* )为试材。在陕西省杨凌农业高新技术示范区一管理良好的商业示范果园采摘,选择大小一致、着色均匀、无损伤、无病虫害的果实作为试验用果,当天运回实验室,20℃ 下贮藏。

1.2 电指标测定

试验采用平行板电极系统在线无损检测,测试仪器为日本日置 3532-50 型 LCR 测试仪,测试装置与条件同文献[3]。用平行平板电极夹住猕猴桃果实颊部,在 24 个电激励频率点(100、158、251、398、631 Hz 和 1、1.58、2.51、3.98、6.31、10、15.8、25.1、39.8、63.1、100、158、251、398、631 kHz 以及 1、1.58、2.51、3.98 MHz)下测定复阻抗、并联等效

电容和阻抗相角 3 个电学参数。每隔 5 d 进行一次电参数测定,每次设 3 个重复,每个重复测 10 个果实。生理指标的测定和电参数测定同步进行。

1.3 生理指标的测定

硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度的测定参照文献[5]的方法;相对电导率的测定参照文献[6]的方法;淀粉质量比测定参照文献[7]的方法;淀粉酶活性测定参照文献[8]的方法;原果胶的提取和测定参照文献[9]的方法;纤维素的提取和测定参照文献[10]的方法;果胶酯酶(PE)活性的测定参照文献[11]的方法;多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性的测定和木聚糖酶(Xyl)活性的测定参照文献[12]的方法;纤维素酶(Cx)活性的测定参照文献[13]的方法。

1.4 数据处理

数据用统计学软件 SPSS 17 进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 “秦美”猕猴桃果实采后电参数的变化

2.1.1 复阻抗 Z

在 0.1 kHz ~ 3.98 MHz 的 24 个频率点下(图 1),果实贮藏 25 d 的 Z 值和贮藏起始相比都有显著的下降( $P < 0.05$ )。“秦美”猕猴桃从贮藏起始到贮藏 15 d 内果实的 Z 值变化不大,数值差异均未达显著水平( $P > 0.05$ ),而到 15 d 以后的第 20 天和 25 天果实 Z 值显著小于 20 d 以前的 Z 值( $P < 0.05$ )。在 2.51 MHz 频率下,果实 Z 值随贮藏时间呈现较好的线性下降变化, $R^2 = 0.959$ 。

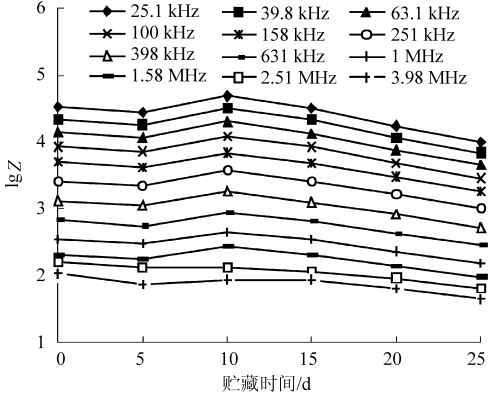
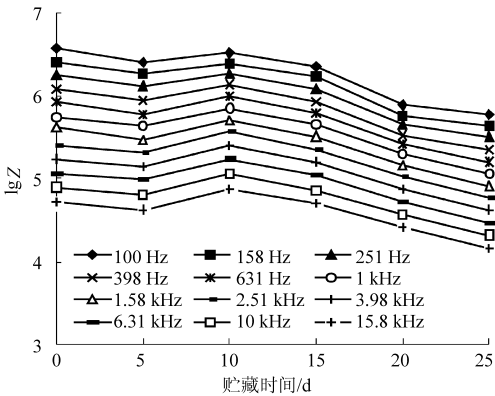


图 1 不同贮藏期果实 Z 的变化

Fig. 1 Variation of fruits of Z during different storage periods

2.1.2 并联等效电容  $C_p$

在同一测定频率下, $C_p$  值随贮藏时间的延长变化明显(图 2)。在 0.1 ~ 631 kHz 频段内,果实贮藏 5 d 的  $C_p$  值与贮藏 0 d 比,都有显著下降( $P < 0.05$ )。在 0.1 kHz ~ 3.98 MHz 频段内的 24 个频率点下,贮藏 25 d 的  $C_p$  与贮藏 5 ~ 20 d 的果实  $C_p$  值

相比都有明显上升,数据的显著性分析表明都达到了显著水平( $P < 0.05$ )。在 1 MHz 和 1.58 MHz 两个频率下, $C_p$  值随贮藏时间呈现较规律地逐渐上升。

2.1.3 阻抗相角  $\theta$

在 0.1 kHz ~ 3.98 MHz 频段内同一电激励频率

下,果实贮藏 0 ~ 15 d 的  $\theta$  变化幅度小(图 3)。以 100 Hz 为例,果实贮藏 0、5、10、15 d 的  $\theta$  值分别为

-66.01°、-64.33°、-59.71°、-64.2°。而到贮藏的第 20 天果实  $\theta$  值明显上升。

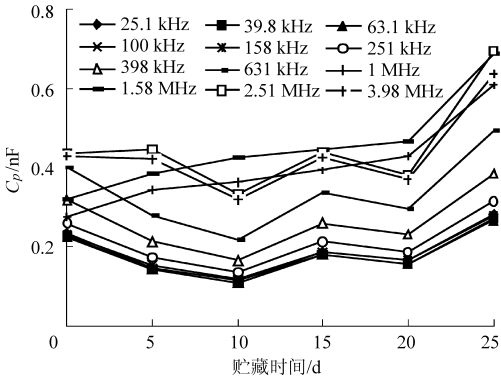
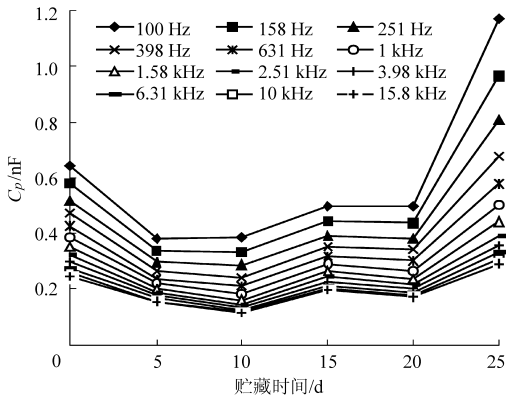


图 2 不同贮藏期果实  $C_p$  的变化

Fig. 2 Variation of fruits of  $C_p$  during different storage periods

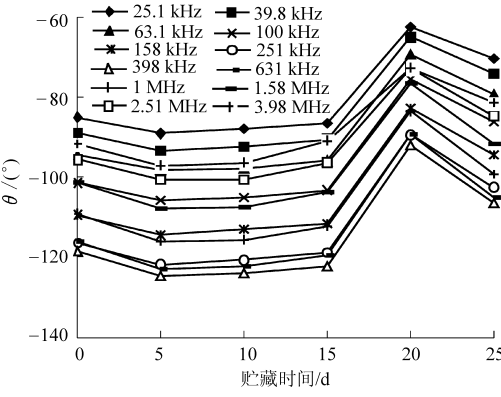
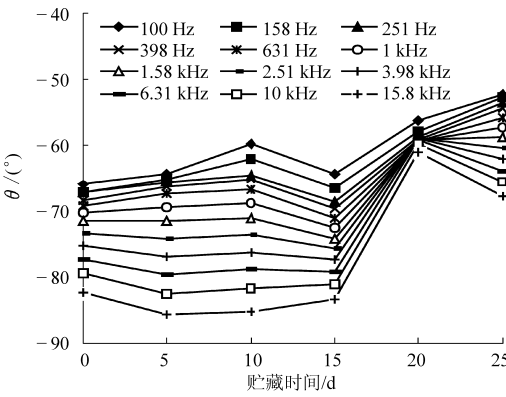


图 3 不同贮藏期果实  $\theta$  的变化

Fig. 3 Variation of fruits of  $\theta$  during different storage periods

2.2 “秦美”猕猴桃果实采后生理参数的变化

2.2.1 品质指标和电导率

在室温贮藏条件下,“秦美”猕猴桃果实硬度从一开始就呈直线下降趋势,贮藏 20 d 时,硬度下降到 0.95 kg/cm<sup>2</sup> 以下,已完全后熟。“秦美”猕猴桃果实可溶性固形物含量在前 20 d 增加达到 11% 左右,之后稳定在此水平上(图 4)。

时间的延长呈线性下降变化(图 5),线性方程为  $Y = -0.779\ 9x + 18.33$ ,  $R^2 = 0.953$ 。果实电导率的变化是细胞质膜完整性的重要标志,并且与水果品质关系很大。研究表明,随贮藏时间的延长,样品的相对电导率在增加,表明细胞膜完整性降低。前 15 d 样品相对电导率呈显著线性上升,之后的上升幅度快于前 15 d。

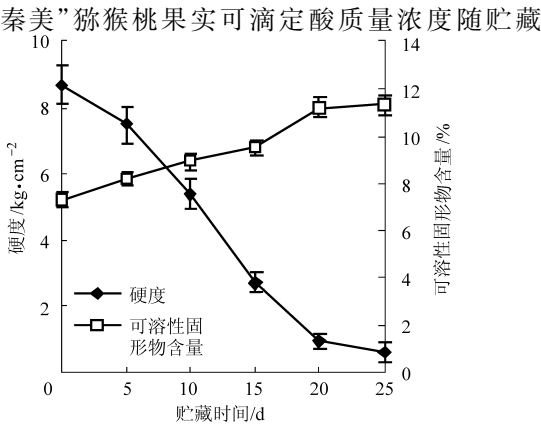


图 4 贮藏期果实硬度和可溶性固形物含量的变化

Fig. 4 Variation of fruits of FF and TSS during different storage periods

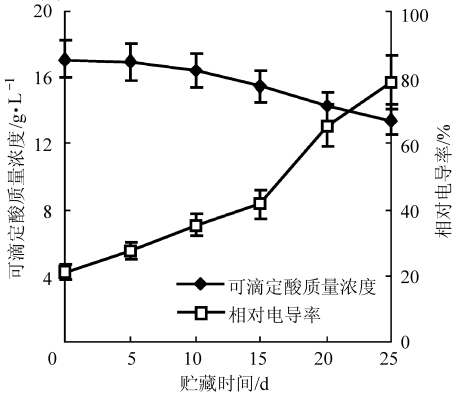


图 5 贮藏期果实可滴定酸质量浓度和相对电导率的变化

Fig. 5 Variation of fruits of TA and relative electrical conductivity during different storage periods

2.2.2 淀粉质量比和淀粉酶活性

采后猕猴桃果实中淀粉质量比在整个贮藏期下降迅速(图 6),至贮藏 15 d 果实硬度下降 68.6% 时,果实淀粉质量比比采收时下降了 21.5%。说明果实采后淀粉迅速转化为其他可溶性糖类,使果实膨压下降,引起细胞胀力的下降,导致果实的软化。

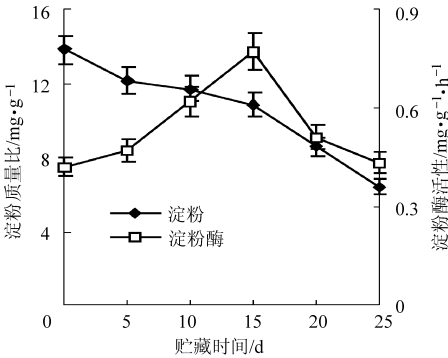


图 6 贮藏期果实淀粉质量比和淀粉酶活性的变化

Fig.6 Variation of fruits of starch content and amylase activity during different storage periods

淀粉酶活性变化为前期上升,贮藏至 15 d 达到最高值,随后下降(图 6)。受淀粉酶的作用,淀粉逐步水解为可溶性糖,导致果实硬度迅速下降。

2.2.3 原果胶和纤维素质量比

果胶是果实细胞壁的重要支持物质,纤维素也是细胞壁的主要成分之一,是细胞壁的骨架网络。由图 7 显示,果实细胞壁中原果胶和纤维素质量比随着贮藏时间的延长有不同程度的降低。越到贮藏后期,细胞壁物质损失就越严重。说明“秦美”猕猴桃果实采后软化与细胞壁结构的破坏及果胶物质的分解有关。

2.2.4 果实细胞壁相关水解酶活性

在果实室温贮藏阶段,猕猴桃果实的纤维素酶(Cx)、果胶甲酯酶(PE)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)和木聚糖酶(Xyl)的活性都是上升,达到一个高峰后逐渐下降(图 8),而且这些酶出峰的时间有顺序出

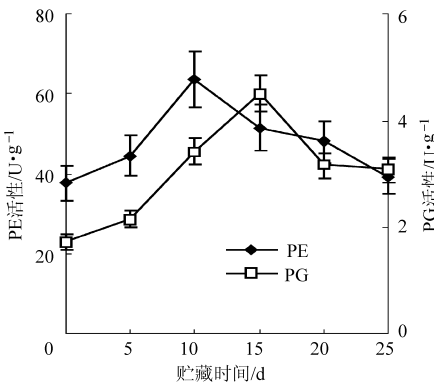


图 8 贮藏期果实 PE、PG、Cx 和 Xyl 酶活性的变化

Fig.8 Variation of fruits of PE, PG, Cx and Xyl during different storage periods

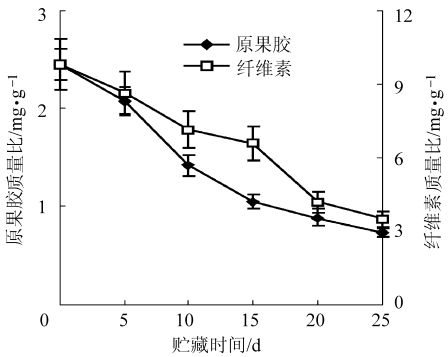


图 7 贮藏期果实原果胶和纤维素质量比的变化

Fig.7 Variation of fruits of content of protopectin and cellulose content during different storage periods

现,可能是不同时期起作用的主要酶不同。

2.3 特征频率下果实电参数与生理指标的相关性

通过 SPSS 17.0 统计软件对电参数和生理参数线性相关分析表明,在频率 0.1 kHz 下,电参数  $Z$  与生理参数具有最多的相关性,在频率 2.51 MHz 下,电参数  $Z$  与生理参数的相关性最高。因而在特征频率 0.1 kHz 下,果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、原果胶质量比、纤维素质量比和 Xyl 酶活性都可用  $Z$  来量化。在 2.51 MHz 频率下,果实硬度、可滴定酸质量浓度、可溶性固形物含量、相对电导率和纤维素质量比的相关都达到极显著水平,用  $Z$  来量化可信度高。 $C_p$  与生理参数相关性最高的频率集中在 1 MHz 和 1.58 MHz,在这两个特征频率下,果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、纤维素质量比都可由  $C_p$  量化。0.1 kHz 频率下,可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、纤维素质量比可用  $\theta$  来量化。在特征频率 0.1 kHz 和 1 MHz 下,果实生理指标与电参数的相关分析结果见表 1。在特征频率 1.58 MHz 和 2.51 MHz 下,果实生理指标与电参数的相关分析结果见表 2。

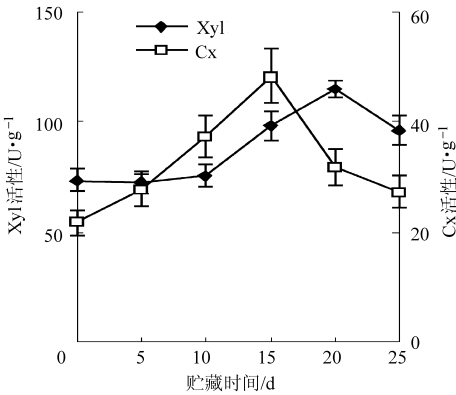


表 1 特征频率 0.1 kHz 和 1 MHz 下“秦美”猕猴桃果实采后生理参数与电参数间的相关性系数

Tab.1 Coefficient of correlation between electrical parameters and quality indexes of postharvest ‘Qinmei’ kiwifruits at characteristic frequency of 0.1 kHz and 1 MHz

| 生理参数     | 0.1 kHz 下相关系数 |                 |                          | 1 MHz 下相关系数 |                 |                          |
|----------|---------------|-----------------|--------------------------|-------------|-----------------|--------------------------|
|          | $Z/\Omega$    | $C_p/\text{nF}$ | $\theta/(\text{^\circ})$ | $Z/\Omega$  | $C_p/\text{nF}$ | $\theta/(\text{^\circ})$ |
| 硬度       | 0.895 *       | -0.464          | -0.808                   | 0.613       | -0.839 *        | -0.685                   |
| 可溶性固形物含量 | -0.946 * *    | 0.489           | 0.891 *                  | -0.691      | 0.869 *         | 0.751                    |
| 可滴定酸质量浓度 | 0.938 * *     | -0.661          | -0.889 *                 | 0.766       | -0.916 *        | -0.745                   |
| 相对电导率    | -0.946 * *    | 0.669           | 0.936 * *                | -0.781      | 0.935 * *       | 0.742                    |
| 淀粉质量比    | 0.949 * *     | -0.668          | -0.929 * *               | 0.788       | -0.964 * *      | -0.665                   |
| 淀粉酶活性    | 0.142         | -0.452          | -0.246                   | 0.494       | -0.119          | -0.299                   |
| 原果胶质量比   | 0.816 *       | -0.386          | -0.790                   | 0.475       | -0.819 *        | -0.554                   |
| 纤维素质量比   | 0.927 * *     | -0.537          | -0.919 * *               | 0.675       | -0.898 *        | -0.716                   |
| PE 活性    | 0.234         | -0.589          | -0.005                   | 0.669       | -0.166          | -0.271                   |
| PG 活性    | -0.312        | -0.063          | 0.237                    | 0.091       | 0.362           | 0.051                    |
| Cx 活性    | -0.025        | -0.361          | -0.092                   | 0.358       | 0.042           | -0.197                   |
| Xyl 活性   | -0.827 *      | 0.245           | 0.582                    | -0.578      | 0.562           | 0.841 *                  |

注：\* \* 1% 显著水平, \* 5% 显著水平,下同。

表 2 特征频率 1.58 MHz 和 2.51 MHz 下“秦美”猕猴桃果实采后生理参数与电参数间的相关性系数

Tab.2 Coefficient of correlation between electrical parameters and quality indexes of postharvest ‘Qinmei’ kiwifruits at characteristic frequency of 1.58 MHz and 2.51 MHz

| 生理参数     | 1.58 MHz 下相关系数 |                 |                          | 2.51 MHz 下相关系数 |                 |                          |
|----------|----------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|
|          | $Z/\Omega$     | $C_p/\text{nF}$ | $\theta/(\text{^\circ})$ | $Z/\Omega$     | $C_p/\text{nF}$ | $\theta/(\text{^\circ})$ |
| 硬度       | 0.619          | -0.812 *        | -0.705                   | 0.936 * *      | -0.720          | -0.735                   |
| 可溶性固形物含量 | -0.701         | 0.838 *         | 0.766                    | -0.963 * *     | 0.428           | 0.793                    |
| 可滴定酸质量浓度 | 0.772          | -0.890 *        | -0.760                   | 0.964 * *      | -0.583          | -0.794                   |
| 相对电导率    | -0.791         | 0.911 *         | 0.755                    | -0.973 * *     | 0.595           | 0.787                    |
| 淀粉质量比    | 0.798          | -0.942 * *      | -0.680                   | 0.993 * *      | -0.638          | -0.716                   |
| 淀粉酶活性    | 0.494          | -0.105          | -0.278                   | 0.009          | -0.403          | -0.273                   |
| 原果胶质量比   | 0.484          | -0.804          | -0.576                   | 0.909 *        | -0.334          | -0.607                   |
| 纤维素质量比   | 0.686          | -0.875 *        | -0.731                   | 0.970 * *      | -0.465          | -0.760                   |
| PE 活性    | 0.656          | -0.135          | -0.265                   | 0.075          | -0.638          | -0.281                   |
| PG 活性    | 0.090          | 0.368           | 0.076                    | -0.466         | -0.057          | 0.099                    |
| Cx 活性    | 0.361          | 0.051           | -0.173                   | -0.162         | -0.302          | -0.161                   |
| Xyl 活性   | -0.575         | 0.508           | 0.856 *                  | -0.742         | 0.161           | 0.868 *                  |

3 讨论

叶齐政等<sup>[14]</sup>通过对采后番茄和芒果复阻抗  $Z$  值的研究发现,随着果实成熟和衰老  $Z$  值不断减小。宋金亚等<sup>[15]</sup>研究发现,红富士苹果的  $Z$  值与新鲜度有关,新鲜度越高  $Z$  值越大。本研究结果和上面的结论相似,果实复阻抗  $Z$  值在贮藏末期有显著的下降,在 2.51 MHz 下, $Z$  随贮藏时间呈现较好的线性下降变化。

Abu-Goukh 等<sup>[16]</sup> 也认为果肉中果胶酶和纤维

素酶分解细胞壁的多糖物质与贮藏过程中果实的软化有关。Bennett<sup>[17]</sup>认为 PG 酶催化果胶质降解可能主要与果实完熟后期的高度软化有关,而不是启动因子。茅林春等<sup>[18]</sup>认为在桃和梨等果实成熟软化中起主要作用的是纤维素酶。本试验的结果表明“秦美”猕猴桃果实硬度下降很快的原因有两方面:细胞内含物的不溶性淀粉转化为可溶性糖引起膨压降低,硬度下降;而细胞壁组分在相应的 PE、PG、Cx、Xyl 水解酶的催化下降解是引起果实软化的另一个原因。“秦美”猕猴桃果实细胞壁软化相关酶

活性高峰出现时间有先后,推断先起主要作用的是淀粉酶和 PE 酶,之后 Cx 酶和 PG 酶起主要作用。

## 4 结束语

通过对“秦美”猕猴桃电特性和生理特性关系研究,发现在特征频率 0.1 kHz 下,可用  $Z$  值量化果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相

对电导率、淀粉质量比、原果胶质量比、纤维素质量比和 Xyl 酶活性变化,可用  $\theta$  值来量化可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、纤维素质量比。在 1 MHz 和 1.58 MHz 这两个特征频率下,可用  $C_p$  值量化硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸质量浓度、相对电导率、淀粉质量比、纤维素质量比。

## 参 考 文 献

- 郭文川,朱新华,郭康权. 采后苹果电特性与生理特性的关系及其应用[J]. 农业工程学报, 2005,21(7): 136~139.  
Guo Wenchuan, Zhu Xinhua, Guo Kangquan. Relationship between electrical properties and physiological properties of postharvest apples and its application [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005,21(7): 136~139. (in Chinese)
- 郭文川,朱新华,郭康权. 损伤对苹果电参数值的影响[J]. 农业机械学报, 2006,37(8): 133~135.  
Guo Wenchuan, Zhu Xinhua, Guo Kangquan. Influence of damages on electrical parameter values of apples[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(8): 133~135. (in Chinese)
- 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): 97~101.  
Ma Haijun, Song Changbing, Zhang Jishu. 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)
- 张李娴,郭红利. 交变电场对猕猴桃介电特性影响的试验研究[J]. 农机化研究, 2006,28(11): 96~99.  
Zhang Lixian, Guo Hongli. Experimental and research on gooseberry's dielectric properties effect in alternating current electric field[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006,28(11): 96~99. (in Chinese)
- 马书尚,韩冬芳,刘旭峰,等. 1-甲基环丙烯对猕猴桃乙烯产生和贮藏品质的影响[J]. 植物生理学通讯, 2003,39(6): 567~570.  
Ma Shushang, Han Dongfang, Liu Xufeng, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on ethylene production and quality of kiwifruit during storage[J]. Plant Physiology Communications, 2003,39(6): 567~570. (in Chinese)
- 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 post-harvest dielectric properties of persimmon fruit [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2008,36(4): 117~122. (in Chinese)
- 徐昌杰,陈文峻,陈昆松,等. 淀粉含量测定的一种简便方法——碘显色法[J]. 生物技术,1998,8(2): 41~43.  
Xu Changjie, Chen Wenjun, Chen Kunsong, et al. A simple method for detecting starch content with iodine colorimetry[J]. Biotechnology, 1998, 8(2): 41~43. (in Chinese)
- Rood S B, Larsen K M. Gibberellins, amylase, and the onset of heterosis in maize seedlings[J]. Journal of Experimental Botany, 1988,39(2): 223~133.
- 方建雄,华雪增,刘愚. 贮藏温度和气体状况对苹果果胶、多聚半乳糖醛酸酶变化的影响[J]. 植物生理学报, 1991, 17(1): 99~104.  
Fang Jianxiong, Hua Xuezheng, Liu Yu. Effects of storage temperature and gas conditions on the change of pectin and polygalacturonase of apple [J]. Journal of Plant Physiology, 1991, 17(1): 99~104. (in Chinese)
- 韩雅珊. 食品化学试验[M]. 北京:中国农业大学出版社, 1996.
- 李建国,黄旭明,黄辉白. 裂果易发性不同的荔枝品种果皮中细胞壁代谢酶活性的比较[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003,29(2): 141~146.  
Li Jianguo, Huang Xuming, Huang Huibai. Comparison of the activities of enzymes related to cell-wall metabolism in pericarp between litchi cultivars susceptible and resistant to fruit cracking[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003,29(2): 141~146. (in Chinese)
- 罗自生. 1-MCP 对柿果实软化及果胶物质代谢的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(3): 229~232.  
Luo Zisheng. Effect of 1-methylcyclopropene on persimmon fruit ripening and pectin metabolism [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(3): 229~232. (in Chinese)
- Brummell D A, Dal Cin V, Crisosto C H, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(405): 2 029~2 039.

14 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. According to the characteristics of impedance frequency change measuring postharvest fruit maturity [J]. Plant Physiology Communications, 1999,35 (4):304 ~ 307. (in Chinese)

15 宋金亚,张立彬,计时鸣. 利用介电特性的水果品质无损检测[J]. 无损检测, 2003,25(8): 420 ~ 422.  
Song Jinya, Zhang Libin, Ji Shiming. Nondestructive testing system for fruit quality based on dielectric property [J]. Nondestructive Testing, 2003,25(8): 420 ~ 422. (in Chinese)

16 Abu-Goukh A A, Bashir H A. Changes in pectic enzymes and cellulose activity during guava fruits ripening [J]. Food Chemistry, 2003, 83(2): 213 ~ 218.

17 Bennett A B. Biochemical and genetic determinations of cell wall disassembly in ripening fruit: general model [J]. HortScience, 2002,37(3):447 ~ 449.

18 茅林春,张上隆. 果胶酶和纤维素酶在桃果实成熟和絮败中的作用[J]. 园艺学报, 2001,28(2): 107 ~ 111.  
Mao Linchun, Zhang Shanglong. Role of pectolytic enzymes and cellulase during ripening and woolly breakdown in peaches [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(2): 107 ~ 111. (in Chinese)

(上接第 93 页)

11 王长耀,林文鹏. 基于 MODIS EV I 的冬小麦产量遥感 预测研究[J]. 农业工程学报,2005,21(10):90 ~ 94.  
Wang Changyao, Lin Wenpeng. Winter wheat yield estimation based on MODIS EV I [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10):90 ~ 94. (in Chinese)

12 黄善斌,卢皖,王和芳. 高产田冬小麦千粒重农业气象条件的研究[J]. 山东气象,1997,17(1):23 ~ 26.

13 任根深,张国宏. 冬小麦数量性状遗传模型分析[J]. 甘肃农业科技,2000(11):10 ~ 13.

14 姚金保,王书文,姚国才,等. 冬小麦产量构成因素的遗传分析[J]. 上海农业学报,2004,20(1):45 ~ 48.  
Yao Jinbao, Wang Shuwen, Yao Guocai, et al. Genetic analysis of components of wheat yield [J]. Acta Agriculture Shanghai, 2004, 20(1):45 ~ 48. (in Chinese)

15 Cochran W G. Sampling techniques [M]. 3 rd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc. , 1977.

16 Lobell D B, Ortiz-Monasterio J I, Falcon W P. Yield uncertainty at the field scale evaluated with multi-year satellite data [J]. Agricultural Systems, 2007,92(1 ~ 3):76 ~ 90.

17 陈云坪,王秀,马伟,等. 小麦多年产量空间变异与空间关联分析[J]. 农业机械学报,2010,41(10):180 ~ 184.  
Chen Yunping, Wang Xiu, Ma Wei, et al. Spatial autocorrelation analysis of wheat yield over five years [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):180 ~ 184. (in Chinese)

18 潘学标. 作物模型原理[M]. 北京: 气象出版社,2003.