

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.03.019

猕猴桃电特性与生理特性关系研究*

唐燕¹ 杜光源² 张继澍¹

(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】 为了研究室温(20℃)贮藏下“秦美”猕猴桃电参数与生理参数的相关性,探讨用电特性无损检测生理特性的可行性,用 SPSS 软件对果实复阻抗等 6 个电参数和果实硬度等 12 个生理参数之间进行了相关性分析。结果显示,复阻抗和电容在特征频率下能量化的生理参数多,其中复阻抗能量化硬度等 8 个生理参数,电容能量化 7 个生理参数,而电感不能量化任何一个生理参数。阻抗相角量化可滴定酸含量、相对电导率、淀粉含量和纤维素含量的可靠性高。除了淀粉酶活性、PE 活性、PG 活性、Cx 活性之外,其余生理参数都可在特征频率下用敏感电参数来量化。

关键词: 猕猴桃 电特性 生理特性 特征频率 敏感电参数

中图分类号: S183 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)03-0097-06

Relationship between Electrical Properties and Physiological Characteristics of Kiwifruit

Tang Yan¹ Du Guangyuan² Zhang Jishu¹

(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

The correlation between six electrical parameters such as impedance and twelve physiological parameters such as firmness of fruits were analyzed in order to study the relationship between electric properties and physiological properties of “Qinmei” kiwifruit stored at room temperature (20℃) and to explore the feasibility of nondestructive testing of physiological characteristics by using electric parameters. The results showed that Z can quantify eight physiological parameters such as firmness of fruits, C_p can quantify seven physiological parameters, inductance (L_p) can not quantify any physical parameters. The correlation between impedance angle (θ) and physical parameters (TA content, relative electrical conductivity, starch content, cellulose content and Xyl activity) was generally high at twenty-four frequencies, so it is reliable to use θ to quantize above physiological indexes. All physiological parameters can be quantified by sensitive electrical parameters except amylase activity, PE activity, PG activity and Cx activity.

Key words Kiwifruits, Electric properties, Physiological characteristics, Characteristic frequency, Sensitive electrical parameters

引言

对于果实成熟衰老过程中电特性变化与生理生化变化关系的研究已有不少报道,在这方面国外开

展较早。Jha^[1]等对茄子果实切片组织的电学特性和果实生理指标相关性进行了研究,结果表明果实电阻、电容与硬度、可溶性固形物含量呈现出很强的相关性。Nelson 和 Guo 等对蜜瓜果肉^[2~3]的研究

收稿日期: 2011-05-06 修回日期: 2011-05-19

* 国家自然科学基金资助项目(30471001)

作者简介: 唐燕,讲师,博士,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

中,发现 1 800 MHz 下果肉和果汁的损耗角正切值与可溶性固形物含量有较好的线性相关性,因而可用介电参数预测蜜瓜果肉和果汁中的糖度。但在西瓜^[4]、苹果^[5]和银凤桃果肉果汁^[6]的研究中,尚未发现介电参数与糖度之间较好的关系。

本文以“秦美”猕猴桃为研究对象,研究果实复阻抗、并联等效电感、并联等效电容、电导、损耗系数和阻抗相角 6 个电学指标与果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、相对电导率、淀粉含量、淀粉酶活性、原果胶含量、纤维素含量、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 12 个生理指标之间的关系,筛选标志果实成熟衰老过程的敏感电参数及其激励频率,旨在为猕猴桃果实品质的在线快速无损检测提供理论基础。

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 电指标和生理指标测定

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[7]。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(0.1 kHz、0.158 kHz、0.251 kHz、0.398 kHz、0.631 kHz、1 kHz、1.58 kHz、2.51 kHz、3.98 kHz、6.31 kHz、10 kHz、15.8 kHz、25.1 kHz、39.8 kHz、63.1 kHz、100 kHz、158 kHz、251 kHz、398 kHz、631 kHz、1 MHz、1.58 MHz、2.51 MHz、3.98 MHz)下测定复阻抗 Z 、并联等效电感 L_p 、并联等效电容 C_p 、电导 G 、损耗系数 D 和阻抗相角 θ 等 6 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 10 个果实。

硬度、可溶性固形物(TSS)含量、可滴定酸(TA)含量、相对电导率、淀粉含量、淀粉酶活性、原果胶含量、纤维素含量、果胶酯酶(PE)活性、多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性、纤维素酶(Cx)活性、木聚糖酶(Xyl)活性的测定每隔 5 d 测定一次(测定和电参数同步),设 3 个重复。

2 结果与分析

2.1 果实硬度和 TSS 含量

由图 1 所示,复阻抗 Z 与硬度在 0.1 kHz、

0.158 kHz、0.251 kHz、2.51 MHz 和 3.98 MHz 5 个频率下相关系数较高,统计检验表明在前 4 个频率下呈显著相关($P < 0.05$),在 2.51 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。电参数和生理参数相关性达显著水平的频率为特征频率,所以 Z 与硬度的特征频率有 5 个。在 24 个频率点下,并联等效电感 L_p 、电导 G 与果实硬度的相关性都很低,统计检验表明都未达到显著水平($P > 0.05$)。在频率小于 1 MHz 的 20 个频率点下,并联等效电容 C_p 与果实硬度的相关性差,频率在 1 MHz 以上的 4 个频率下, C_p 与果实硬度的相关性提高,统计检验表明在 1 MHz 和 1.58 MHz 下达显著水平($P < 0.05$)。损耗系数 D 只在 39.8 kHz 下与果实硬度相关性高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$),其余频率下相关性都很低。阻抗相角 θ 与硬度在各频率下 R 值都大于 -0.65,但都未达到显著水平($P > 0.05$)。

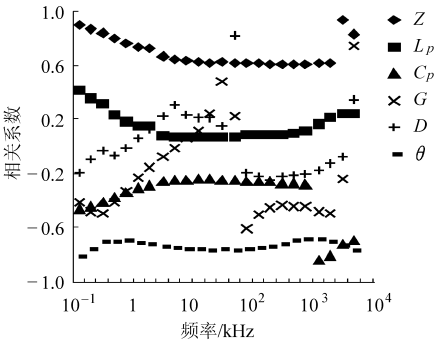


图 1 不同频率下果实硬度与电参数间的相关性

Fig.1 Coefficient of correlation between electrical parameters and firmness of fruit at different frequencies

由图 2 可知, Z 与 TSS 含量的相关性在 0.1 ~ 0.631 kHz 的 5 个频率点及 2.51 MHz 和 3.98 MHz 两个频率下,相关性都高,统计检验表明该 7 个频率下呈显著水平($P < 0.05$),其中 0.1 kHz、0.158 kHz 和 2.51 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。 C_p 和 θ 与 TSS 含量在 1 MHz 和 1.58 MHz 下呈显著相关($P < 0.05$)。 D 只在 39.8 kHz 下与 TSS 含量呈显著

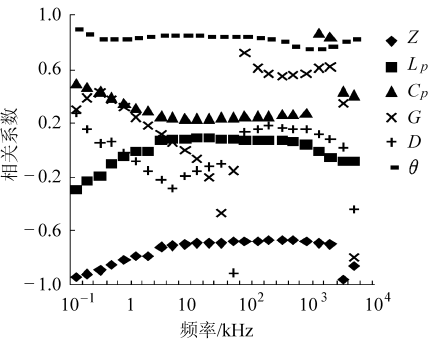


图 2 不同频率下果实 TSS 含量与电参数间的相关性

Fig.2 Coefficient of correlation between electrical parameters and TSS of fruit at different frequencies

相关($P < 0.05$)。 θ 与 TSS 含量的 R 在 251 kHz ~ 2.51 MHz 的 6 个频率点未达显著水平,在其余频率下都呈显著相关($P < 0.05$)。 L_p 和 G 在 24 个频率点下与 TSS 含量相关性差,统计检验表明都未达到显著水平($P > 0.05$)。因而不能用 L_p 和 G 去量化 TSS 含量。

2.2 TA 含量和相对电导率

由图 3 可知, Z 与 TA 含量之间在 0.1 ~ 1.58 kHz 的 7 个频率点和 2.51 MHz 及 3.98 MHz 2 个频率下相关系数高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$),其中在 0.1 kHz、0.158 kHz 和 2.51 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。 L_p 和 D 在 24 个频率点下与 TA 含量相关性差,统计检验表明都未达到显著水平($P > 0.05$)。 C_p 与 TA 含量只在 1 MHz 和 1.58 MHz 下呈显著相关($P < 0.05$)。 G 和 TA 含量只在 3.98 MHz 下呈显著相关($P < 0.05$)。 θ 与 TA 含量的相关性只在 251 kHz ~ 2.51 MHz 的 6 个频率点相关系数低,统计检验表明未达显著水平($P > 0.05$),其余频率下都呈显著相关($P < 0.05$)。

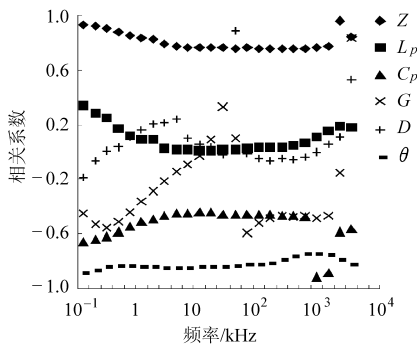


图 3 不同频率下果实 TA 含量与电参数间的相关性

Fig. 3 Coefficient of correlation between electrical parameters and TA of fruit at different frequencies

图 4 表明在 0.1 ~ 1.58 kHz 的 7 个频率点及 2.51 MHz 和 3.98 MHz 2 个频率下 Z 与相对电导率的相关系数高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$),其中在 0.1 kHz、0.158 kHz、0.251 kHz 和 2.51 MHz 下相关性达极显著水平($P < 0.01$)。 L_p 在 24 个频率点下与 TA 含量相关性差,统计检验表明都未达到显著水平($P > 0.05$)。 C_p 与相对电导率只在 1 MHz 和 1.58 MHz 下呈显著相关($P < 0.05$),其中在 1 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。 G 与相对电导率只在 3.98 MHz 下呈显著相关($P < 0.05$)。 D 在 39.8 kHz 下与相对电导率呈极显著相关($P < 0.01$),在其他频率下相关性差($P > 0.05$)。 θ 与相对电导率相关系数在各频率下都较高,只在 251 kHz ~ 2.51 MHz 的 6 个频率点未达显著水平($P > 0.05$),其余频率下都呈显著相关($P < 0.05$),其中 0.1 kHz 和 0.158 kHz 频率下呈极显著相关

($P < 0.01$)。

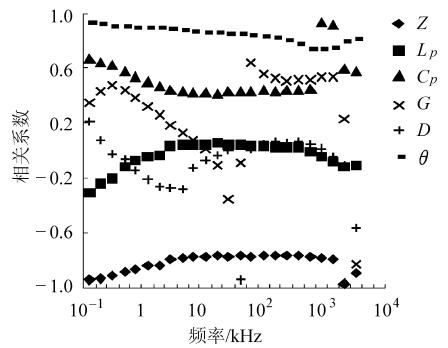


图 4 不同频率下果实相对电导率与电参数间的相关性

Fig. 4 Coefficient of correlation between electrical parameters and relative electrical conductivity of fruit at different frequencies

2.3 淀粉含量和淀粉酶活性

如图 5 所示,在 0.1 ~ 1.58 kHz 的 7 个频率点及 2.51 MHz 和 3.98 MHz 2 个频率下 Z 与淀粉含量相关系数高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$),0.1 kHz、0.158 kHz、0.251 kHz、2.51 MHz 和 3.98 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。 L_p 和 G 在 24 个频率点下与淀粉含量相关性都差($P > 0.05$)。 C_p 与淀粉含量只在 1 MHz 和 1.58 MHz 下呈极显著相关($P < 0.01$)。 D 在 39.8 kHz 下与淀粉含量呈极显著相关($R = 0.955$)。 θ 与淀粉含量相关系数在 0.1 ~ 6.31 kHz 内 10 个频率下都较高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$),其中 0.1 kHz 和 0.158 kHz 呈极显著相关($P < 0.01$)。

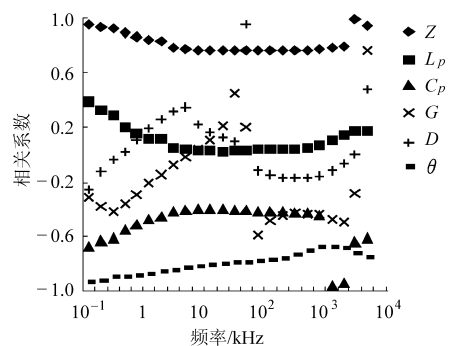


图 5 不同频率下果实淀粉含量与电参数间的相关性

Fig. 5 Coefficient of correlation between electrical parameters and starch content of fruit at different frequencies

Z 等 6 个电参数与淀粉酶活性在 24 个频率点下相关系数低,统计检验表明都未达到显著水平(图 6)。

2.4 原果胶含量和纤维素含量

在 24 个频率下(图 7), Z 与原果胶含量仅在 0.1 kHz 和 2.51 MHz 下相关系数高,统计检验表明呈显著相关($P < 0.05$)。 L_p 与原果胶含量的 R 值在整个频率范围内都明显低于 Z 与原果胶含量的 R

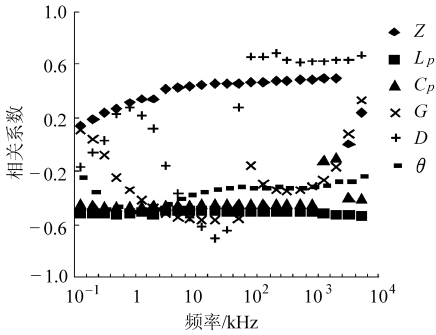


图 6 不同频率下果实淀粉酶活性与电参数间的相关性
Fig. 6 Coefficient of correlation between electrical parameters and amylase activity of fruit at different frequencies

值,且 $R \leq 0.499 (P > 0.05)$ 。 C_p 与原果胶含量的相关性普遍较差,仅 1 MHz 和 1.58 MHz 时 R 值较高,分别是 -0.819 和 -0.804 。 G 和 D 与原果胶含量的 R 值随频率的增加变幅很大,呈单峰曲线变化。在 24 个频率下 θ 与原果胶含量之间相关性都差 ($P > 0.05$)。

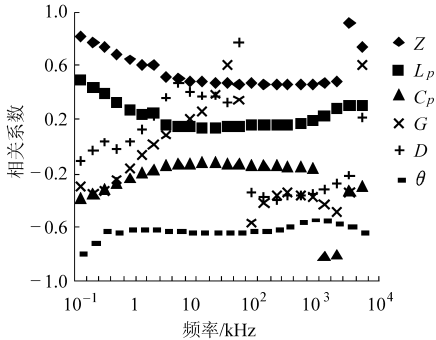


图 7 不同频率下果实原果胶含量与电参数间的相关性
Fig. 7 Coefficient of correlation between electrical parameters and content of protopectin of fruit at different frequencies

如图 8 所示,在 0.1 ~ 0.398 kHz 内的 4 个频率点及 2.51 MHz 和 3.98 MHz 两个频率下 Z 与纤维素含量相关系数高,统计检验表明呈显著相关 ($P < 0.05$),其中 0.1 kHz 和 2.51 MHz 下呈极显著相关 ($P < 0.01$)。 L_p 与纤维素含量的 R 值在整个频率范围内都明显低于 Z 与纤维素含量的 R 值,且 $R \leq 0.332 (P > 0.05)$ 。 C_p 与纤维素含量在 1 MHz 和 1.58 MHz 下相关系数高,统计检验表明呈显著相关 ($P < 0.05$)。 D 与纤维素仅在 39.8 kHz 下呈显著相关 ($P < 0.05$)。 θ 与纤维素含量的相关系数普遍较高,在 0.1 ~ 39.8 kHz 的 14 个频率点相关性达显著水平 ($P < 0.05$),其中在 0.1 kHz 下呈极显著相关。

2.5 PE 和 PG 活性

在 24 个频率点下, Z 、 L_p 、 C_p 、 G 、 D 和 θ 与 PE 活性相关性都差,统计检验表明都未达到显著水平

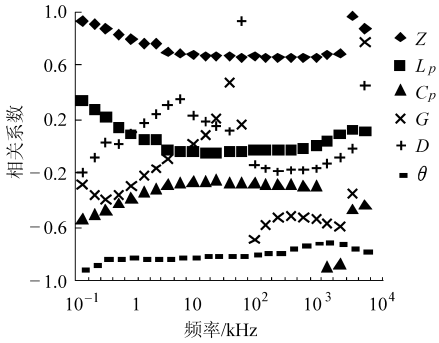


图 8 不同频率下果实纤维素含量与电参数间的相关性
Fig. 8 Coefficient of correlation between electrical parameters and cellulose content of fruit at different frequencies

(图 9)。6 个电参数与 PG 活性的相关性也都差,统计检验表明都未达到显著水平(图 10)。即不能用电参数来表征 PE 和 PG 活性的变化。

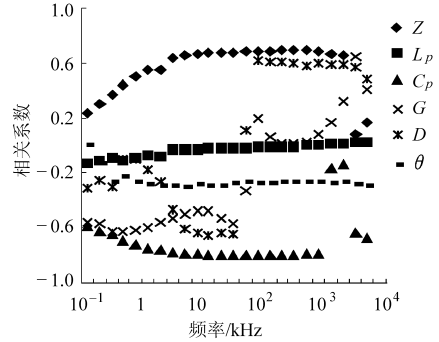


图 9 不同频率下果实 PE 活性与电参数间的相关性
Fig. 9 Coefficient of correlation between electrical parameters and PE activity of fruit at different frequencies

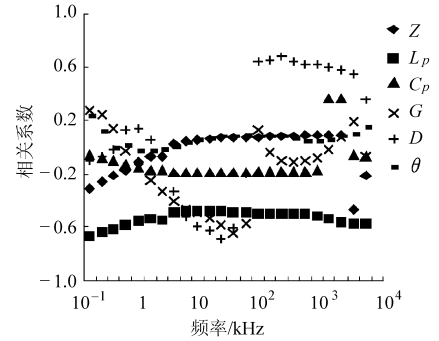


图 10 不同频率下果实 PG 活性与电参数间的相关性
Fig. 10 Coefficient of correlation between electrical parameters and PG activity of fruit at different frequencies

2.6 Cx 和 Xyl 活性

Z 、 L_p 、 C_p 、 G 、 D 和 θ 与 Cx 活性的相关性都未达到显著水平(图 11)。

Z 与 Xyl 活性仅在 0.1 kHz 和 0.158 kHz 两个频率下相关系数高,统计检验表明呈显著相关(图 12)。 L_p 、 C_p 和 D 与 Xyl 活性在 24 个频率下相关系数低,统计检验表明都未达到显著水平 ($P > 0.05$)。 G 与 Xyl 活性仅在 3.98 MHz 下呈显著相关

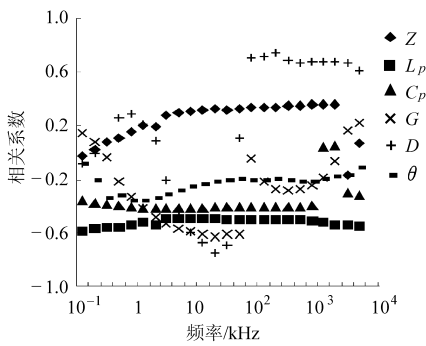


图 11 不同频率下果实 Cx 活性与电参数间的相关性

Fig. 11 Coefficient of correlation between electrical parameters and Cx activity of fruit at different frequencies

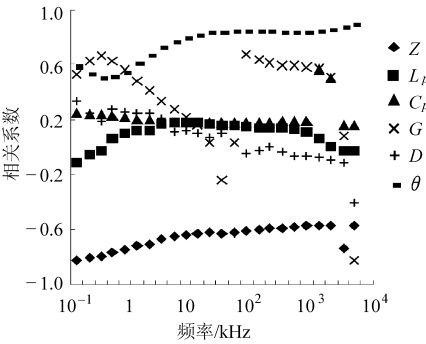


图 12 不同频率下果实 Xyl 活性与电参数间的相关性

Fig. 12 Coefficient of correlation between electrical parameters and Xyl activity of fruit at different frequencies

($P < 0.05$)。 θ 与 Xyl 活性在 10 kHz ~ 3.98 MHz 内的 14 个频率点下相关性高,统计检验表明达显著水平($P < 0.05$)。

3 讨论

张道德^[8]对苹果品质理化指标和介电特性的测定,发现可用电容、阻抗和电感推导内部品质水分、可溶性固形物含量和有机酸含量。郭文川^[9]等

对蜜瓜和西瓜果汁的研究发现,蜜瓜汁与糖度在频率 1.8 GHz 下具有较好相关性,损耗角正切与糖度的决定系数达 0.784。王玲^[10]对“嘎拉”苹果的研究发现,苹果果实采后复阻抗、并联等效电容与果实硬度均具有显著相关性。王瑞庆^[11]等对红巴梨研究表明,随着测试频率的升高,果实阻抗、电容与果实硬度相关性增大,确定 1 MHz 为最佳测试频率。邵晓蕾^[12]等对尖柿果实采后电学特性与品质指标的关系进行数学分析,认为 398 kHz 下品质指标和电参数的综合相关性最好。本试验的研究发现,除了淀粉酶活性、PE 活性、PG 活性、Cx 活性不能用电参数来量化,其余生理参数都可在特征频率下用敏感电参数来量化。

4 结束语

对猕猴桃的电学指标和生理指标之间的相关性进行了分析,结果表明硬度、TSS 含量、TA 含量、相对电导率、淀粉含量、原果胶含量、纤维素含量可在特征频率下用 Z 、 C_p 量化,其中 Z 与各生理参数相关性高的频率点较多。TA 含量、相对电导率、淀粉含量、纤维素含量和 Xyl 活性与 θ 在所测试的 24 个频率下相关性普遍较高,认为 θ 量化上述生理指标的可靠性高。在所测试频率范围的 24 个频率下,果实 L_p 和 12 个生理参数的相关性都普遍差($P > 0.05$),因而不是标志果实生理指标变化的敏感电参数。

本试验筛选出了能够用于猕猴桃果实无损检测的特征频率和敏感电参数。果实硬度、TSS 含量、TA 含量、相对电导率、淀粉含量、原果胶含量、纤维素含量和 Xyl 活性在特征频率下可用敏感电参数来量化。

参 考 文 献

- 1 Jha S N, Matsuoka T. Changes in electrical resistance of eggplant with gloss, weight and storage period[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(1): 119 ~ 123.
- 2 Nelson S O, Trabelsi S, Kays S J. Dielectric spectroscopy of honeydew melons from 10 MHz to 118 GHz for quality sensing [J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(6): 1 977 ~ 1 981.
- 3 Guo W C, Nelson S O, Trabelsi S, et al. Dielectric properties of honeydew melons and correlation with quality[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 2007, 41(2): 44 ~ 54.
- 4 Nelson S O, Guo W C, Trabelsi S, et al. Dielectric spectroscopy of watermelons for quality sensing[J]. Measurement Science and Technology, 2007, 18(7): 1 887 ~ 1 892.
- 5 Guo W C, Nelson S O, Trabelsi S, et al. 10 ~ 1 800 MHz dielectric properties of fresh apples during storage[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(4): 562 ~ 569.
- 6 郭文川,陈克克. 桃 10 ~ 4 500 MHz 间的介电特性与内部品质关系分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 134 ~ 138. Guo Wenchuan, Chen Keke. Relationship between dielectric properties from 10 to 4 500 MHz and internal quality of peaches [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3): 134 ~ 138. (in Chinese)
- 7 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, 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)
- 8 张道德. 金冠苹果果实的介电特性与无损检测技术的研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2007.
Zhang Daode. Study on the dielectric property and the non-destructive testing technology of malus pumila mill [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 9 郭文川, Stuart O Nelson, Samir Trabelsi, 等. 蜜瓜和西瓜果汁的射频介电特性及其与糖度的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 289 ~ 292.
Guo Wenchuan, Stuart O Nelson, Samir Trabelsi, et al. Radio frequency (RF) dielectric properties of honeydew melon and watermelon juice and correlations with sugar content [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(5): 289 ~ 292. (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 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(4): 243 ~ 247. (in Chinese)
- 12 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, 19(9): 80 ~ 98.
Shao Xiaolei, Huang Sen, Yu Chunyang, et al. Relationship between electrical parameters and quality Indexes of postharvest persimmon fruit [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(9): 80 ~ 98. (in Chinese)
-

(上接第 96 页)

- 8 骆伟峰, 王红林, 陈砺, 等. 下吸式固定床气化木薯茎秆试验研究[J]. 广东化工, 2008, 35(6): 13 ~ 16.
Luo Weifeng, Wang Honglin, Chen Li, et al. Experiment research on gasification of cassava stalk in downdraft gasifier [J]. Guangdong Chemical Industry, 2008, 35(6): 13 ~ 16. (in Chinese)
- 9 杨勃, 李维仲. 热质渗透壁面饱和多孔介质通道流动与热质传递的数值模拟[J]. 热科学与技术, 2004, 3(4): 309 ~ 313.
Yang Bo, Li Weizhong. Forced convection heat and mass transfer in saturated porous channel with heat and mass permeable wall [J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2004, 3(4): 309 ~ 313. (in Chinese)
- 10 毕文涛, 郭英锋, 沙莎, 等. 乙烯裂解炉管内裂解反应的 CFD 模拟[J]. 天津科技大学学报, 2008, 23(1): 49 ~ 52.
Bi Wentao, Guo Yingfeng, Sha Sha, et al. CFD Simulation on the cracking reactions in tubular reactor of ethylene cracking furnace [J]. Journal of Tianjin University of Science and Technology, 2008, 23(1): 49 ~ 52. (in Chinese)
- 11 Gao Jinsen, Chang Jian, Xu Chunming, et al. CFD simulation of gas solid flowing FCC strippers [J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(7): 1 827 ~ 1 841.
- 12 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 92 ~ 95.
- 13 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 169 ~ 179.
- 14 王武林. 生物质气化技术及焦油净化方法[J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 182 ~ 184.
Wang Wulin. Biomass gasification technology and tar purification methods [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 182 ~ 184. (in Chinese)
- 15 郭飞强, 董玉平, 董磊, 等. 主动配气下生物质气化焦油热裂解特性试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 135 ~ 138.
Guo Feiqiang, Dong Yuping, Dong Lei, et al. Tar thermal cracking in biomass gasifier under active air distribution [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 135 ~ 138. (in Chinese)