

贺宪权,史庆瑞,王志强,等.基于伏安型电子舌系统的面粉区分辨识[J].江苏农业科学,2017,45(5):219-223.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.061

基于伏安型电子舌系统的面粉区分辨识

贺宪权,史庆瑞,王志强,李彩虹,韩 慧

(山东理工大学计算机科学与技术学院,山东淄博 255049)

摘要:为了对不同品种的面粉进行区分辨识,基于虚拟仪器技术和多传感器阵列设计制作 1 套伏安型电子舌系统。采用该系统对 2 种不同品牌小麦粉、1 种农家自磨小麦粉与 1 种农家自磨玉米粉进行检测;采用主成分分析法(principal component analysis,简称 PCA)对试验数据进行分析。结果表明,单独使用金、钼电极能较好区分 4 种不同种类面粉,钛电极能够辨识出 2 种面粉,银电极只能辨识出 1 种面粉。进一步对试验数据进行融合分析,结果表明,电子舌系统在多电极、多频段信息联合分析时,对面粉的区分能力明显提高。该研究结果可为快速识别与分辨食品工业中的面粉提供参考。

关键词:电子舌;LabVIEW;主成分分析;面粉;数据融合

中图分类号:S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)05-0219-04

面粉是我国乃至世界上很多地区主食的主要原材料,种类繁多且品质优劣不齐,其质量直接关系到人民群众的身体健康。在我国,面粉按照蛋白质含量可以分为高筋粉、中筋粉和低筋粉;按照加工精细度可以分为特一粉、特二粉、标准粉和普通粉。在面食加工行业与餐饮业中,不同的产品选用的面粉种类也不同。因此,对面粉种类的区分以及面粉品质优劣的鉴定判别,无论是对人们的生活质量,还是对食品加工及餐饮业的稳定健康发展,均十分重要。常用的面粉区分方法为观察颜色,一般认为高筋粉颜色较深,中筋粉颜色乳白,低筋粉颜色较白。但是这种判断方法主观性强,需要鉴别人员具有非常丰富的经验,并且对不同品牌,是否含有添加剂以及质量好坏也无法进行客观判断。

电子舌系统是具有低选择性、客观高效的电化学分析仪器,能够对不同溶液化样品进行种类区分辨识、新鲜度检测以及品质等级鉴定等。Polshin 等采用电位型电子舌对啤酒进行了定量检测^[1];Wei 等采用伏安型电子舌对不同米酒进行了分类和预测^[2];Dias 等采用电位型电子舌对特级初榨橄榄油进行了分类^[3];Woertz 等采用日本 SA402B 型电子舌系统对制药中奎宁的含量进行了预测^[4];韩剑众等采用多频伏安电子舌对鱼肉品质及新鲜度进行了评价^[5]。但是,采用电子舌对面粉进行区分辨识研究,目前尚未见相关报道。本研究基于虚拟仪器技术和多种贵金属传感器阵列,构建 1 套伏安型电子舌系统用于对面粉进行区分辨识。试验证明,该系统能够对面粉品牌及种类进行有效分析辨识,系统具有体积小、功耗低、分析准确、检测速度快等优点。

1 电子舌系统总体设计

根据检测原理,电子舌系统可分为阻抗型、电位型以及伏安型^[6-8]等。其中,伏安型电子舌系统具有激励信号灵活、自主控制能力强、传感器稳定等优点。本研究构建的伏安型电子舌系统主要分为传感器阵列模块、信号调理模块、数据采集卡和基于 LabVIEW 的测控软件 4 个部分(图 1)。

1.1 传感器阵列

传感器阵列采用三电极配置^[9],即工作电极、辅助电极与参比电极。工作电极分别采用惰性贵金属钛、钼、银、金制作(纯度 $\geq 99.99\%$)。工作电极在系统激励信号作用下,表面发生氧化还原反应,由于电荷迁移作用,产生与样本溶液相关的特异性响应电流信号。辅助电极采用 1 mm \times 5 mm 铂柱电极,作用是和工作电极构成回路以确保溶液中产生的电化学反应电流传导入测量系统。参比电极采用填充有饱和 KCl 溶液的 Ag/AgCl 电极,可以为工作电极提供稳定的基准电位。

1.2 信号调理模块

由图 2 可知,调理电路模块主要包括恒电位电路与 I/V 转换电路。恒电位电路的主要功能是在保证参比电极无电流通过的前提下,保持工作电极与参比电极之间工作电势的恒定^[10]。I/V 转换电路的主要作用是将工作电极表面电化学反应产生的微弱电流信号转换成稳定的电压信号,并对该信号进行调理放大,以达到数据采集卡可测量的范围。

1.3 数据采集卡

数据采集卡接收由信号发生程序生成的激励数据,并按照时序、幅值和频率等特征产生符合要求的物理信号。同时,采集卡对经过调理电路模块转换后的电压信号进行 A/D 采集,然后传输给接收程序。本研究中,数据采集卡采用美国国家仪器有限公司生产的 USB-6002。该采集卡采用高速 USB 接口,其内部具有 16 位高精度数模转换器(digital analog converter, DAC)与模数转换器(analog digital converter, ADC)、32 位计数器以及多通道数字、模拟 I/O 口等丰富资源,可以满足

收稿日期:2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:61473179);山东省自然科学基金(编号:ZR2015CM016)。

作者简介:贺宪权(1982—),男,山东聊城人,硕士研究生,主要从事智能仪器研究。E-mail:hexianquanwork@163.com。

通信作者:王志强,博士,副教授,主要从事智能仪器和传感器方面的研究。E-mail:wzq@sdu.edu.cn。

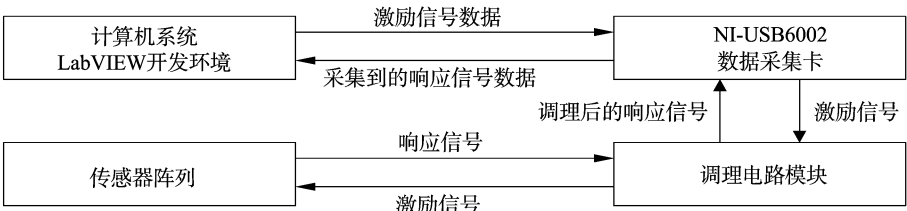


图1 电子舌系统整体构架

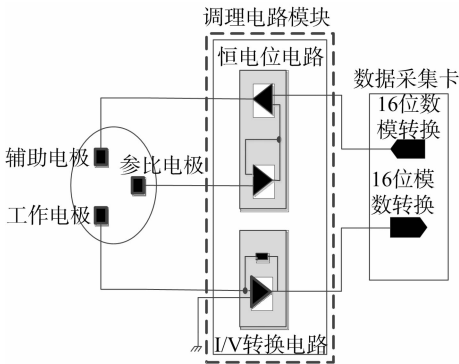


图2 信号调理电路模块示意

激励信号如图 4 所示,每个频率段下激励信号的起始电位从 +1 V 开始,以 0.2 V 的幅度逐步递减,直到 -1 V 结束。

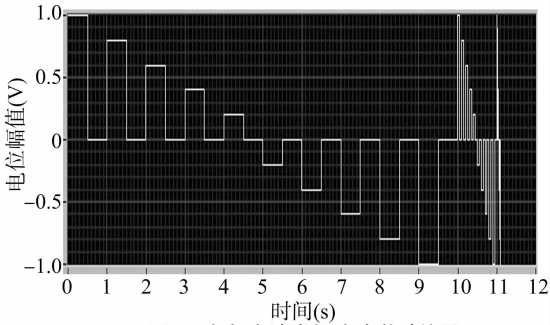


图4 多频方波大幅脉冲激励信号

电子舌系统需要。

2 电子舌系统软件设计

软件编程采用美国国家仪器公司的 LabVIEW 开发环境。LabVIEW 使用图形化编辑语言(G 语言),以框图形式来编写程序。该编程语言的特点是数据流图一旦确定,程序也就基本成型,稍作修改就可以完成程序的编写工作,具有代码效率高、可移植性好、编程速度快等优点。本系统软件主要由激励信号发生模块、数据采集配置模块、数据存储模块和数据处理模块 4 个部分组成(图 3)。

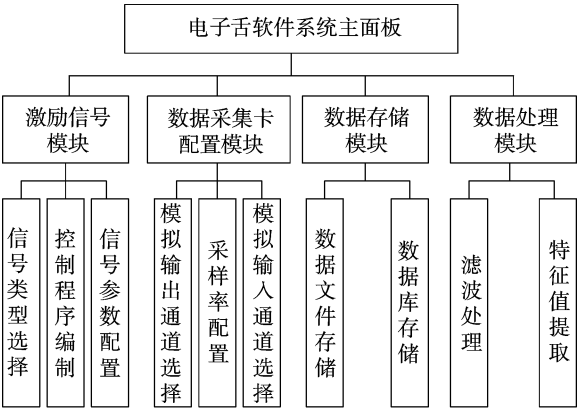


图3 电子舌软件系统框架

2.1 激励信号

电子舌激励信号采用多频方波大幅脉冲信号,频率分别设置为 1、10 Hz。该激励信号是在瑞典 Linköping 大学 Winquist 小组常规方波大幅脉冲信号基础上加上频率变化改进得到的^[11-12]。多频方波大幅脉冲信号的优点是,不但可以获取溶液化样品在不同电势变化情况下的电化学特征数据,而且可以获取样品在不同频率激励下的响应信息^[13],因此增加了采集信号的可识别特征范围,提高了电子舌的辨识能力。

2.2 响应信号特征值提取

伏安型电子舌从工作电极上采集得到的响应电流信号数据量较大,并伴随有一定噪声;因此,需要对数据进行信号预处理,以提取特征信息,减少数据冗余量,方便后续分析。根据伏安电子舌检测特性和响应电流特点,系统提取电流响应信号中不同频率段内的极值和拐点作为特征信息,用来表征样品溶液的特性^[14](图 5)。

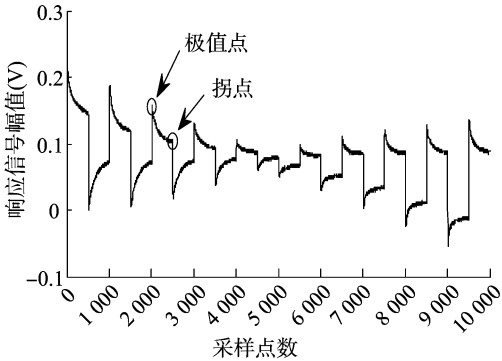


图5 频率为 1 Hz 的电流响应及特征值提取方式

3 材料与方法

3.1 试验材料

从本地市场分别购买 2015 年密封完好的 2 种不同品牌(小雪人、百益德)小麦面粉,1 种农家自磨小麦面粉与 1 种农家自磨玉米粉,密封后,放置在 4 ℃ 冰柜中冷藏。

3.2 试验方法

采用精度为 1 mg 的分析天平分别称取不同种类面粉 5 g,量筒量取 200 mL 纯净水。将面粉倒入烧杯,然后倒入纯净水,搅拌均匀,静置 3 min。取上清液,将待检测样品分成 6 个 30 mL 样本。采用多种工作电极分别在 1、10 Hz 等 2 个频段下对样本进行检测,每个样本检测 3 次,取平均值作为该样

本的原始检测数据。每个品种检测完后用纯净水清洗电极 5 min, 检测 2 个同种类样本之间不再清洗电极。

3.3 数据分析

经特征值提取后, 每个样本在每个频段下产生的数据量为 40 个。4 个不同种类面粉各自提取 6 个样本, 则每个频段下的数据组成 1 个 24×40 矩阵。随后在 Matlab(2012a) 环境中采用主成分分析方法对提取的特征数据进行处理。主成分分析是采用向量分析和相关矩阵技术的分类技术, 它可以通过特征空间转换的方式实现数据的降维, 并从原有变量中提取出多个综合因子来代替和反映原变量的特征信息。

4 结果与讨论

首先单独采用金、钯、钛及银电极分别在 1、10 Hz 频率下进行试验。由图 6-a 可看出, 金电极工作在 1 Hz 时, 前 2 个主成分累积贡献率为 87.59%, 较好地表达了原始信息, 4 种面粉中 2 种农家自磨面粉区分较好, 但 2 种品牌面粉区分度较低。由图 6-b 可看出, 在 10 Hz 时, 前 2 个主成分累积贡献率为 90.51%, 4 种面粉中农家自磨面粉可以较好区分, 但是 2 种品牌小麦粉区分效果相比 1 Hz 时较差。总体而言, 金电极对不同面粉区分效果相对较好, 并表现出一定的稳定性。

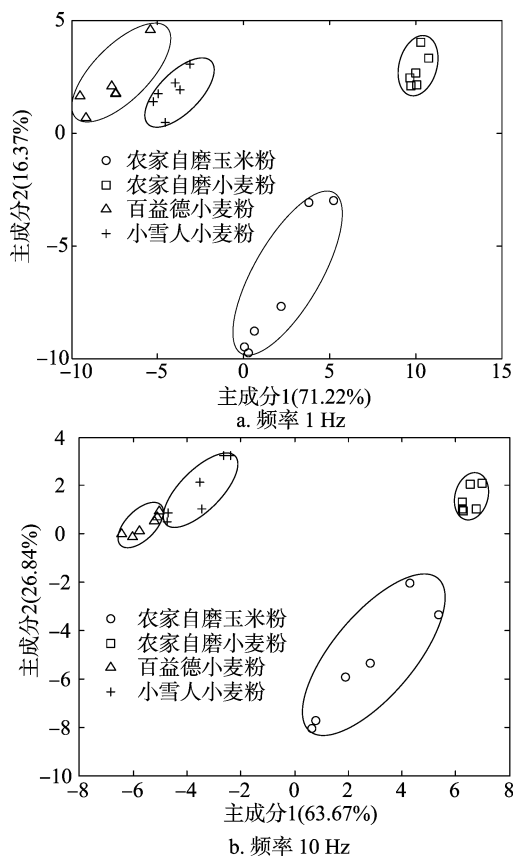


图6 金电极下 4 种面粉的主成分分析结果

由图 7-a 看出, 钯电极工作在 1 Hz 时, 前 2 个主成分的累积贡献率为 93.35%, 4 个样品中都有个别样本分布较为离散, 2 种农家自磨面粉分辨明显, 但小雪人和百益德 2 个品牌小麦粉有部分重合。由图 7-b 看出, 在 10 Hz 时, 前 2 个主成分累积贡献率达到了 96.06%, 样本分布也表现出与在

1 Hz 情况下相似的分散特性。总体而言, 钯电极在 2 个频率下各样品样本分布相对较为均匀, 区分效果相对明显。

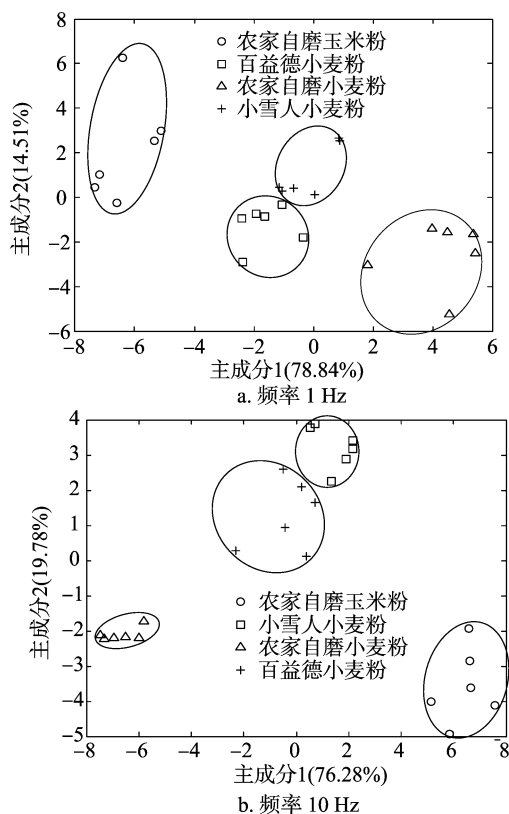


图7 钯电极下 4 种面粉的主成分分析结果

由图 8-a 可看出, 钛电极工作在 1 Hz 时, 样品样本聚集程度较高, 但小雪人与百益德 2 种品牌小麦粉无法辨识。由图 8-b 可看出, 在 10 Hz 时, 小雪人与百益德 2 种品牌小麦粉仍无法区分, 样品样本分布不如在 1 Hz 时稳定。总体而言, 钛电极在 2 个频率下, 对小雪人与百益德 2 种品牌小麦粉区分效果较差, 对 2 种农家自磨面粉区分效果较好, 整体区分效果一般。

由图 9 可知, 银电极工作在 1、10 Hz 时都只能将农家自磨玉米粉辨识出来, 其他 3 种面粉都有不同程度重叠, 无法进行有效区分。总体而言, 银电极对 4 种面粉的区分辨识效果较差。

试验结果表明, 各工作电极对 4 种面粉区分效果有明显差异。其中金、钯电极在 2 个频率下能够将 4 种面粉基本区分; 钛电极在 2 个频率能够辨识出 2 种样品, 效果一般; 银电极在 2 个频率下只能辨识出 1 种样品, 效果较差。

为进一步提高电子舌系统对面粉的分辨能力, 选用试验效果较好的金、钯电极进行多频数据融合分析。由图 10-a 可看出, 第 1 主成分与第 2 主成分的累积贡献率为 94.05%, 能够较好地反映原始数据信息, 小雪人与百益德 2 个品牌小麦粉的区分度比单频率分析明显提高, 样本也更加聚集。由图 10-b 可看出, 第 1 主成分与第 2 主成分的累积贡献率为 94.82%, 样品区分效果明显提高, 由此可见, 经过多频数据融合后的电子舌系统对不同面粉的辨识效果明显提高。

由图 11 可看出, 第 1 主成分与第 2 主成分的累积贡献率

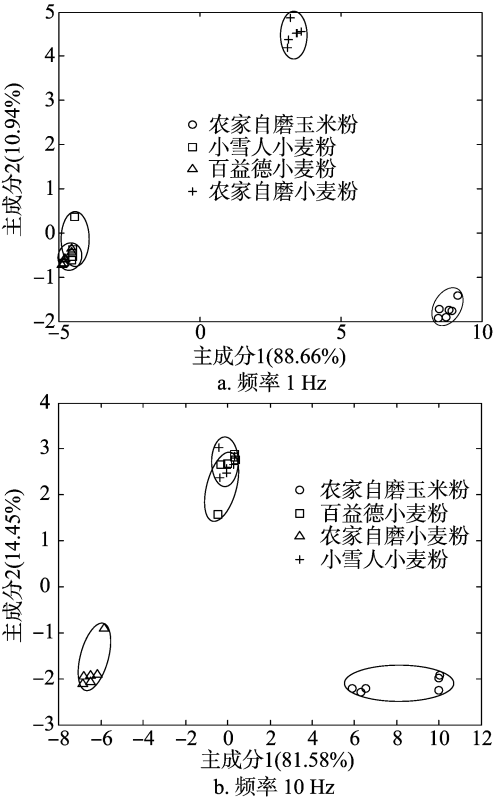


图8 钛电极下 4 种面粉的主成分分析结果

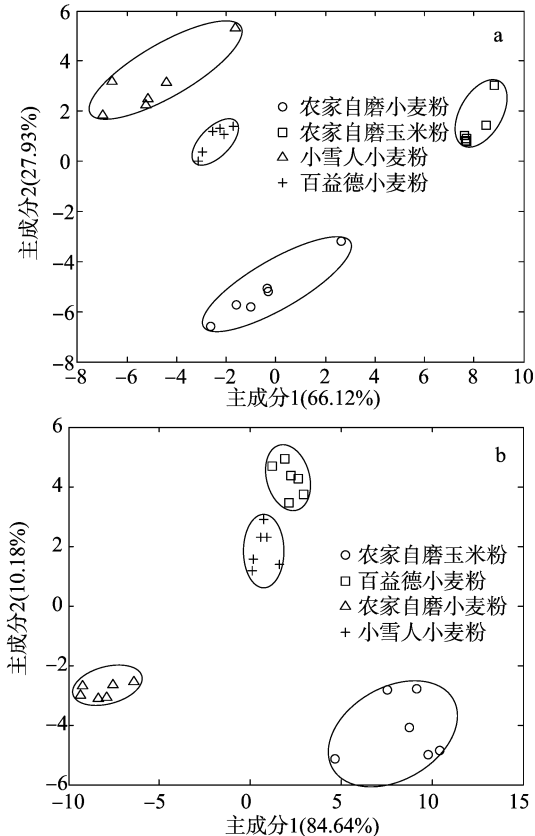


图10 金(a)、钯(b)电极下 4 种面粉的主成分分析结果

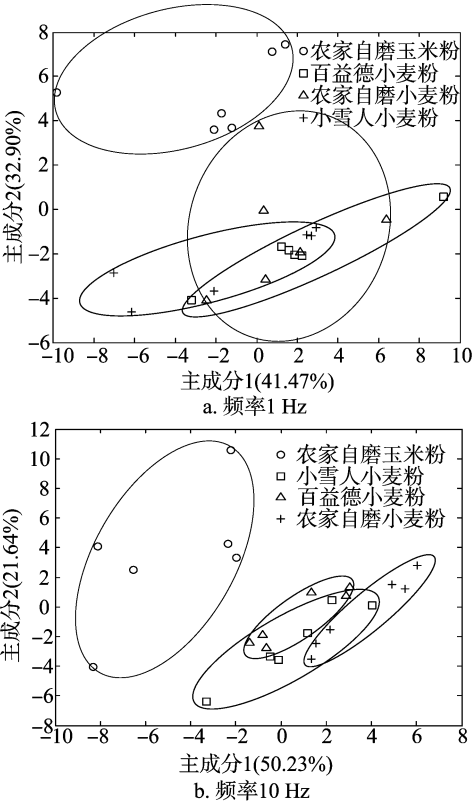


图9 银电极下 4 种面粉主成分分析结果

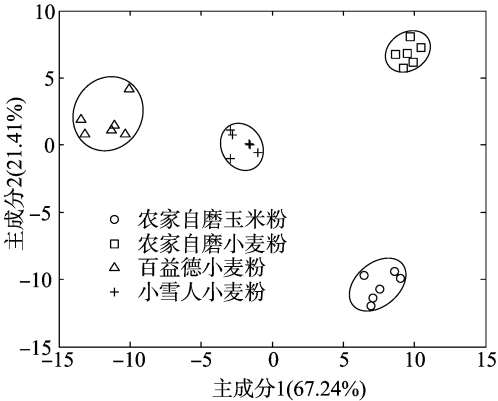


图11 金、钯电极多频数据融合分析主成分分析结果

分析辨别能力。因此,基于多频大幅脉冲信号与多传感器阵列构建的伏安电子舌系统,可以对面粉样品进行有效区分与辨识。

5 结论

面粉主要成分为较难溶于水的蛋白质与淀粉,其水溶性物质含量较少,一般形成悬浊液,因此要求电子舌系统具有良好的检测灵敏度和系统稳定性。本研究基于虚拟仪器技术与多传感器阵列设计了 1 套伏安型电子舌系统,并对 4 种面粉进行了试验检测,结果表明,金电极与钯电极获得了较好区分辨别效果。进一步对金、钯电极的 1、10 Hz 数据进行融合分析,结果表明,对多电极和多工作频段检测数据进行融合分析,可以有效增强电子舌对多种面粉的区分辨别效果。本研

为 88.65%,各面粉样本数据聚集度比单电极多频分析进一步提高,多种面粉的分离度增大,说明将不同电极在不同频率下的试验数据进行融合分析可以进一步提高电子舌对样本的

陈兆春, 杨 洲, 朱正波, 等. 香蕉梳柄的结构特征及其力学特性试验[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(5): 223–227.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.062

香蕉梳柄的结构特征及其力学特性试验

陈兆春^{1,2}, 杨 洲^{1,2}, 朱正波^{1,2}, 牛萌萌^{1,2}, 朱卿创^{1,2}, 孙志全^{1,2}, 谷 峴^{1,2}

(1. 华南农业大学工程学院, 广东广州 510642; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东广州 510642)

摘要:针对香蕉因落梳环节劳力大、人工成本高而制约香蕉采收处理机械化的发展问题, 研究香蕉梳柄的结构特征及其力学特性参数, 以期研制智能香蕉落梳装备提供参数依据。分析香蕉梳柄在穗秆上不同位置的结构特征, 并在精密型微控电子式万能试验机上, 通过对香蕉梳柄进行压缩特性、剪切特性试验, 深入研究梳柄位置对其弹性模量、峰值剪切力及剪切强度的影响, 并对其进行相关性分析。结果表明, 梳柄弹性模量在 4.69~8.15 MPa 范围, 标准差为 1.01 MPa, 变异系数为 15.81%; 峰值剪切力在 0.153~0.290 kN 范围, 标准差为 0.036 kN, 变异系数为 16.02%; 剪切强度在 0.036~0.057 MPa 范围, 标准差为 0.006 MPa, 变异系数为 13.16%。香蕉梳柄含水率、间距、峰值剪切力及剪切强度与梳柄位置呈线性相关; 梳柄弧长、密度及弹性模量与梳柄位置呈二次曲线相关。

关键词:香蕉梳柄; 落梳; 结构特征; 力学特性; 智能; 采收机械化

中图分类号: S225.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0223-05

香蕉是全球鲜销量较大、较重要的热带水果, 也是我国主要的热带、亚热带特色水果之一, 主要分布在广东、广西、福建、云南、海南 5 省(区)^[1]。我国自 2011 年起跃居世界第二大香蕉生产国, 2013 年全国香蕉种植面积 36 万 hm², 总产量 1 142 万 t^[2], 香蕉产业已经成为我国热带、亚热带重要的农

业产业之一, 对于促进区域农业、农村经济发展作用明显, 意义重大。

目前, 我国香蕉产业正处于在由传统生产模式向现代生产模式转变的重要阶段^[3], 然而, 无论是国内还是国外, 在香蕉采收、运送、清洗、包装等环节中都不同程度地使用了相关机械与装备, 只有落梳环节采用人工落梳方法^[4], 这使得香蕉采收处理各环节的机械装备不能有效连接, 使效率提升受到限制, 从而制约了香蕉采收处理机械化的发展^[5]。因此, 为发展我国香蕉采收处理机械化, 促进我国香蕉产业的进一步发展, 亟须提升香蕉落梳机械化水平, 而香蕉梳柄的结构特征研究是改进香蕉落梳机具的前提, 梳柄的弧长、间距等尺寸

收稿日期: 2016-08-03

基金项目: 广东省自然科学基金(编号: 2014A030313460)。

作者简介: 陈兆春(1992—), 男, 广东雷州人, 硕士研究生, 主要从事农业机械装备的设计与研究。E-mail: 1525907343@qq.com。

通信作者: 杨 洲, 博士, 教授, 主要从事农业机械方面的教学与研究。E-mail: yangzhou@scau.edu.cn。

究结果可为面粉品牌真假辨识以及面粉加工精细质量控制提供一定参考。

参考文献:

- [1] Polshin E, Rudnitskaya A, Kirsanov D, et al. Electronic tongue as a screening tool for rapid analysis of beer[J]. *Talanta*, 2010, 81(1/2): 88–94.
- [2] Wei Z B, Wang J, Ye L S. Classification and prediction of rice wines with different marked ages by using a voltammetric electronic tongue[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2011, 26(12): 4767–4773.
- [3] Dias L G, Fernandes A, Veloso A C, et al. Single-cultivar extra virgin olive oil classification using a potentiometric electronic tongue[J]. *Food Chemistry*, 2014, 160(10): 321–329.
- [4] Woertz K, Tissen C, Kleinebudde P, et al. Performance qualification of an electronic tongue based ICH guideline Q2[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2010, 51(3): 497–506.
- [5] 韩剑众, 黄丽娟, 顾振宇, 等. 基于电子舌的鱼肉品质及新鲜度评价[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 141–144.
- [6] Heras J Y, Pallarola D, Battaglini F. Electronic tongue for simultaneous detection of endotoxins and other contaminants of microbiological origin[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2010, 25(11): 2470–

2476.

- [7] Lvova L, Martinelli E, Dini F, et al. Clinical analysis of human urine by means of potentiometric electronic tongue[J]. *Talanta*, 2009, 77(3): 1097–1104.
- [8] Oliveri P, Baldo M A, Daniele S, et al. Development of a voltammetric electronic tongue for discrimination of edible oils[J]. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 2009, 395(4): 1135–1143.
- [9] 林伟欣, 田作华, 王晓萍. 一种基于三电极体系的人工电子舌的实现方法[J]. *测控技术*, 2007, 26(6): 9–11.
- [10] 王志强, 王 辉, 张志豪, 等. 基于电化学和虚拟仪器的土壤重金属检测系统研究[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(1): 119–126.
- [11] Winquist F, Wide P, Lundström I. An electronic tongue based on voltammetry[J]. *Analytica Chimica Acta*, 1997, 357(1/2): 21–31.
- [12] Söderström C, Winquist F, Krantz-Rülcker C. Recognition of six microbial species with an electronic tongue[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2003, 89(3): 248–255.
- [13] 田师一. 多频脉冲电子舌系统构建与应用[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2007.
- [14] 钟海军, 田师一, 邓少平. 智能型电子舌的虚拟仪器构建技术[J]. *仪表技术与传感器*, 2009(10): 31–34.