

数显式豆浆总固形物含量检测仪设计与试验

郭文川 杨彪

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为了给豆浆总固形物含量的检测提供一种简单、便捷的仪器, 首先研究了豆浆的总固形物含量(2.13 ~ 6.50 g/(100 mL))和温度(20 ~ 70℃)对其电导率的影响规律。结果说明, 豆浆的电导率随总固形物含量和温度的增大而增大, 可用二元二次模型表达豆浆的电导率与总固形物含量、温度的关系, 该模型的决定系数为0.994。进而设计了以STC12C5A16S2单片机为控制器、以DJS-1型电导电极作为电导率传感器、以DS18B20为温度传感器、以锂电池供电的便携式豆浆总固形物含量检测仪硬件系统。用C51语言设计了检测仪的软件, 实现了数据的采集、处理和显示。对该检测仪的检验结果说明, 当总固形物质量浓度在2.00 ~ 8.00 g/(100 mL)范围内时, 该检测仪的总固形物含量测量误差为-0.52 ~ 0.37 g/(100 mL), 平均绝对误差为0.17 g/(100 mL), 响应时间小于5 s。

关键词: 豆浆; 电导率; 温度; 总固形物含量; 数显式检测仪

中图分类号: S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0287-06

Design and Test of Digital Detector on Total Solids Content of Soybean Milk

Guo Wenchuan Yang Biao

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soybean milk is a traditional plant protein beverage in China. Total solids content is an important indicator of soybean milk. However, the usually used total solids content determination methods, i. e., oven drying method, empirical method and refractometry method, had some shortcomings such as long time consuming, low precision or inconvenience. Developing a portable, quick and precise detector for measuring total solids content of soybean milk is helpful to guarantee the quality of soybean milk and soybean products. Therefore, the influence of total solids content over the range of 2.13 ~ 6.50 g/(100 mL) and temperature from 20℃ to 70℃ on the conductivity was investigated firstly. The results indicated that the conductivity was increased with the increase of total solids content and temperature. A binary quadratic model with determination coefficient of 0.994 could be used to describe the relationship between conductivity and total solids content and temperature over the investigated ranges. Furthermore, the hardware system of a portable total solids content detector for soybean milk was developed by using the single-chip microcomputer of STC12C5A16S2 as controller, DJS-1 conductivity pole as conductivity sensor, DS18B20 as temperature sensor, and lithium cell as battery. C51 language was used to develop the software of the detector to realize data collection, treatment and display. Another batch of soybean milk samples were prepared to investigate the performance of the detector. The results indicated that when the total solids content was within the range of 2.00 ~ 8.00 g/(100 mL) and the temperature was within the range of 20 ~ 70℃, the measurement error of the detector was within the range of -0.52 ~ 0.37 g/(100 mL), the mean absolute error was 0.17 g/(100 mL), and the response time was less than 5 s. Future research will focus on improving the accuracy of the detector.

Key words: soybean milk; electrical conductivity; temperature; total solids content; digital detector

收稿日期: 2016-04-10 修回日期: 2016-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671935)

作者简介: 郭文川(1969—), 女, 教授, 博士, 主要从事农产品和食品品质无损检测技术研究, E-mail: guowenchuan69@126.com

引言

大豆富含多种营养成分,如蛋白质(38%~40%)、碳水化合物(30%)、脂肪(18%)、维生素和氨基酸等^[1]。豆浆是我国传统的植物蛋白饮料^[2],富含蛋白质、脂肪、钙、磷、铁等矿物质和维生素,还含有异黄酮、皂甙等生物活性物质,消化率高达95%。豆浆中的异黄酮、大豆皂甙、大豆低聚糖和卵磷脂等成分具有显著的保健功能^[3]。根据中国豆制品专业委员会的统计显示,我国每年用于生产豆浆的大豆消费量约占传统豆制品大豆消费总量的10%~20%。2012年,用于工业化生产豆浆的大豆用量约60~70万t^[4]。

总固形物含量是评价豆浆品质的主要指标。国家轻工行业标准QB/T 2132—2008《植物蛋白饮料豆奶(豆浆)和豆奶饮料》规定,合格豆浆中的总固形物含量应不小于4g/(100mL)。豆浆不仅是消费者的主要日常饮品之一,而且是生产豆腐、腐竹等豆制品的原料。豆浆的总固形物含量直接影响豆腐的产量、破碎率、硬度和弹性等^[5],影响腐竹的产量、品质和成膜速率等^[6]。因此,检测豆浆的总固形物含量是保证和提高豆浆及豆制品品质的重要技术手段。

国家轻工行业标准QB/T 2132—2008规定的豆浆总固形物含量检测方法为干燥法。该方法存在过程繁琐、耗时较长的缺点。国内企业判断豆浆品质的主要方法为经验法和折光法^[7]。经验法的可靠性很差,而且要求检测者有较丰富的经验。折光法虽然可给出一个量化结果,但是该方法受光照和温度的影响较大,尤其温度对测量结果的影响需要查阅修正说明书进行修正。因此,设计一种价格低廉、检测迅速、结果可靠的便携式豆浆总固形物含量检测仪是非常必要的。

电导率是表征物质电特性的主要电参数之一。目前,电导率已经被用于检测牛乳中的含水率和脂肪含量^[8]、牛乳中的掺假物^[9]、蜂蜜中的含水率^[10]、果葡糖浆中的灰分含量^[11]、无土栽培基质参数^[12]以及水体质量^[13]等。现有的大量研究结果表明,除了主要成分外,农产品和食品的温度也是影响其电导率及相关电参数的主要因素^[14~17]。李法德等^[18~19]发现,豆浆的电导率随总固形物含量和温度的增加而增大。但是,目前尚未发现基于电导率测量豆浆总固形物含量的仪器以及相关的研究报道。为此,本文首先通过试验建立豆浆的电导率与其总固形物含量和温度的关系模型,进而设计基于豆浆电导率和温度检测总固形物含量的仪器,并对仪器

的性能进行检验。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验所用优质黄豆购自陕西省杨凌区某超市,选取籽粒饱满、无破损、无虫眼的黄豆作为原料。分别依据GB/T 5497—1985、GB/T 5009.5—2010、GB/T 5413.3—2010和GB 5009.88—2014测得所用黄豆的初始湿基含水率、蛋白质、脂肪和膳食纤维质量分数分别为9.1%、36.21%、9.3%、19.24%。浸泡黄豆的水为自来水,室温(25±1)℃下该自来水的电导率为(175±10)μS/cm。

1.2 豆浆样品的制备

试验前期对杨凌区餐饮店所销售的新鲜豆浆的总固形物含量进行了测量,结果显示总固形物含量的变化范围为3.20~5.70g/(100mL)。QB/T 2132—2008规定,合格豆浆中的总固形物含量应不小于4g/(100mL)。为了使所设计的仪器能在较大的、合理的范围内测量豆浆的总固形物含量,试验中将最高的总固形物含量设定为QB/T 2132—2008规定值的约1.5倍,将最小值设定为该值的约0.5倍。

将3kg黄豆放入适量自来水中浸泡12h。随后取浸泡好的黄豆约300g和自来水约1L放入DJ13B-C639SJ型豆浆机(九阳股份有限公司)中,选择豆浆机上的“好豆浆”功能制备可直接饮用的豆浆。将制备的豆浆沉淀10min后依次用豆浆机自带滤网和80目标准筛过滤。重复制样6次,将6次所制豆浆混在一起。用规格为10mL的分度吸量管从搅拌均匀的豆浆中取样4份,用精度0.0001g的FA2104N型精密电子天平(上海精密科学仪器有限公司)测量4份样品的质量后,将样品置于105℃的101-1AB型电热鼓风干燥箱(天津泰斯特仪器有限公司)中干燥至质量恒定,然后测量豆浆干燥后的质量,从而得到原始豆浆样品的总固形物含量,其值为6.50g/(100mL)。干燥期间,剩余的豆浆置于4℃冷藏室中保存。

试验前,将冷藏室中的豆浆样品取出,按照0.50g/(100mL)的间隔给约每200g的豆浆中加入自来水,制备总固形物含量2.00~6.50g/(100mL)间9个不同总固形物含量的豆浆样品。然后再用干燥法测量每个样品的实际总固形物含量,最终得到总固形物含量为2.13、2.67、3.20、3.74、4.19、4.80、5.35、5.85、6.50g/(100mL)的豆浆样品。

1.3 电导率测量方法

将每个总固形物含量的豆浆样品搅匀后倒入一

支 50 mL 的玻璃试管中,剩余样品密封待用。向 Dk-98-1 型恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司)内加入冰水混合液,将与恒温水浴锅配套的九孔塑料架置于水浴锅上,将每个盛有豆浆样品的试管架在塑料架上,其底端浸在冰水混合液中。将 DDSJ308A 型电导率仪(上海精密科学仪器有限公司)的电极和精度为 0.1℃ 的 HI98509 型数显温度计的探头(意大利 HANNA 公司)插入豆浆样品中。设定水浴锅的温度为 20℃,待温度计上显示豆浆温度达到设定值并稳定后,读取电导率的数值。然后依次设定水浴锅温度为 30、40、50、60、70℃。同一温度下每支试管中样品的电导率读数 3 次。每个总固形物含量下 3 次重复 9 次读数的平均值作为测量结果。采用 Matlab R2010a(MathWorks,美国)建立电导率与总固形物含量和温度的关系模型并对模型进行分析。

2 试验结果分析与建模

2.1 总固形物含量和温度对豆浆电导率的影响

图 1 是在所研究的总固形物含量和温度范围内,总固形物含量和温度对豆浆电导率的综合影响。由图 1 可以看出豆浆的电导率均随总固形物含量和温度的增大而增大。豆浆中的固形物是由蛋白质、膳食纤维、脂肪、盐等物质组成的,是一种混合物。前期对牛奶介电特性的研究说明,大豆蛋白含量的增加会增加牛乳的介质损耗因数^[20],而低频下(0~300 MHz)离子的导电性是引起介电损耗的主要原因,且由离子的导电性所引起的介电损耗与电导率成正比^[21]。因此,豆浆中蛋白质含量的增加使得豆浆的电导率增大。

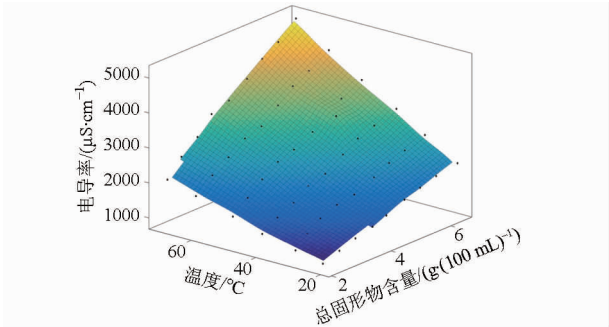


图 1 豆浆的总固形物含量和温度对其电导率的综合影响
Fig. 1 Influence of total solids content and temperature of soybean milk on its electrical conductivity

前期对脂肪对牛乳介电特性的研究结果说明,脂肪含量的增加会降低牛乳的介质损耗因数,即使电导率降低^[22]。目前尚未见膳食纤维对食品介电特性影响的报道。豆浆中总固形物含量的增加使得蛋白质、脂肪、膳食纤维和盐含量均增加,而盐是影

响电导率最主要的成分。盐含量的增加会增加豆浆中的离子数,从而大大增加电导率。因此,各种因素综合表现的结果是豆浆的电导率随着总固形物含量的增加而增大。该现象也发现于对豆浆进行通电加热的研究中^[17]。温度的增大导致豆浆中离子的导电性增强,从而导致电导率增大。该现象也发现于对蜂蜜^[10]、果汁^[15]、肉^[23-24]和豆腐^[25]电特性的研究中。

利用 Matlab 软件的 cftool 工具箱对图 1 数据进行拟合。在综合考虑单片机的运算能力以及多种模型精度的前提下,最终确定表达豆浆电导率与总固形物含量和温度的拟合方程为

$$\sigma = 64.15 + 184.5S + 1.715T + 7.152ST + 0.1142T^2 \quad (R^2 = 0.994) \quad (1)$$

式中 σ ——豆浆电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$
 S ——豆浆总固形物含量, $\text{g}/(100\text{ mL})$
 T ——豆浆温度, $^{\circ}\text{C}$

2.2 模型检验

为了验证模型的可靠性,在温度 20~70℃,总固形物含量 2.00~6.50 $\text{g}/(100\text{ mL})$ 范围内,随机选取 4 个温度,配制 7 个不同总固形物含量的豆浆,测量了不同温度下豆浆的电导率,对实测的电导率与依据式(1)计算的电导率进行比较,结果如图 2 所示。

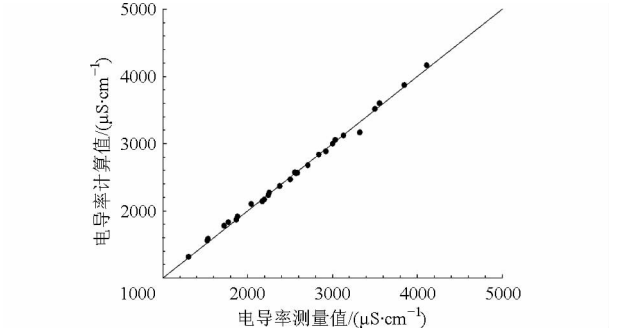


图 2 豆浆电导率实测值与计算值的比较
Fig. 2 Comparison of measured and calculated electrical conductivities of soybean milk samples

由图 2 可以看出,豆浆电导率的实测值与预测值紧密地分散在 45°线的两侧,说明式(1)能够正确地表达豆浆的电导率与总固形物含量和温度的关系。

3 豆浆总固形物含量检测仪的设计

3.1 硬件设计

图 3 为设计的豆浆总固形物含量检测仪的硬件结构图。该检测仪由电导率检测模块、温度传感器、电源模块、输入输出模块和单片机组成。

电导率检测模块用于实现检测电导率所用信号

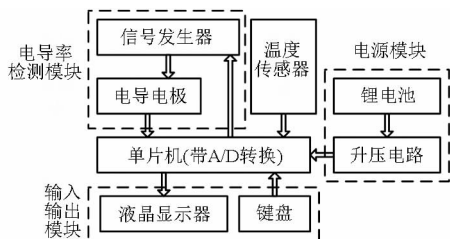


Fig. 3 Structure diagram of total solids content detector of soybean milk

的产生、检测和传输;温度检测模块负责获取豆浆的温度数据;电源模块负责升压,为系统提供稳定的5 V电源;输入输出模块接收按键控制信息、显示样本温度和总固形物含量;单片机则负责数据处理,并控制其他模块。

3.1.1 电导率检测模块

电导率检测模块由 L9110 型 H 桥芯片、采样电阻和电导电极 (DJS - 1 型铂黑电导电极, 上海雷磁公司) 组成, 如图 4 所示。当检测信号的频率为中频 (300 ~ 10 000 Hz) 时, 豆浆阻抗角为 0° , 可视为电阻元件^[26]。单片机通过 P2.7、P2.6 控制 L9110 型 H 桥芯片, 使 H 桥输出电压为 5 V、频率为 300 Hz 的矩形检测信号。研究发现, 豆浆电导率的范围为 800 ~ 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 其电阻值范围为 0.2 ~ 1.2 k Ω , 此处设定采样电阻的阻值为 4.7 k Ω 。采样电阻与电导电极串联, 当豆浆的电导率增大时, ADC0 节点电压升高, 通过检测 ADC0 节点的电压就可以得到豆浆的电导率。

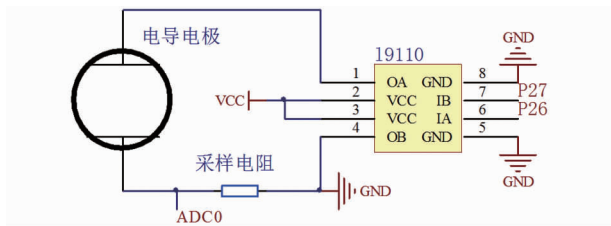


图4 电导率检测模块

Fig.4 Conductivity detection module

3.1.2 温度传感器

本设计采用美国 Dallas 半导体公司生产的防水型 DS18B20 数字式温度传感器检测豆浆的温度。该传感器的特点是体积小、功耗低、成本低、外围电路简单且具有最高 12 位的精度。

3.1.3 电源模块

便携式设备的特点是体积小。为此,本文采用锂电池对单片机及其他芯片供电。而单片机等芯片的电源电压一般要求是 5 V,为此需要进行升压处理。本设计选择美国摩托罗拉公司生产的 MC34063 型 DC-DC 转换控制芯片实现电压转换。

该芯片的开关频率高(100 kHz)、输出电流大(1.5 A),配合肖特基二极管可以使电压的转换效率大于75%。图5是所设计的豆浆总固形物含量检测仪的电源模块。

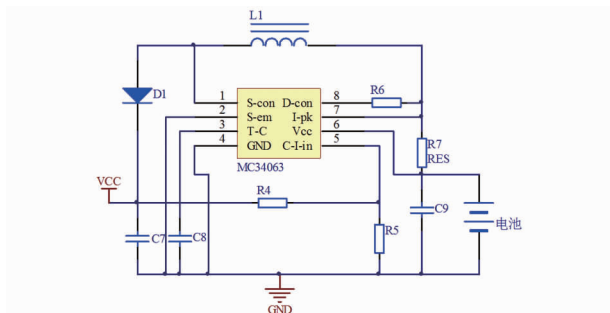


图5 总固形物含量检测仪的电源模块
Fig.5 Power module of total solids content detector

3.1.4 输入输出模块

在保证功能又便携的条件下,本检测仪只有 3 个按键,分别是开关键、复位键和总固形物含量/电导率检测切换键。检测到的温度、总固形物含量或者电导率由 LCD1602 型液晶显示器显示。

3.1.5 单片机模块

本设计选用 STC12C5A16S2 单片机为控制器。该单片机是“1T”型单片机,同晶振频率下,运行速度为传统 8051 单片机的 8 ~ 12 倍,片内集成 1 280 B 的 SRAM、16 kB 闪存和 8 路 10 位 ADC,可以高速地实现电导率测量、A/D 转换、温度测量、按键响应、数据处理和输出检测结果等功能。

图6是本文设计的豆浆总固形物含量检测仪硬件电路实物图。



图6 豆浆总固形物含量检测仪实物图

Fig.6 Picture of total solids content detector of soybean milk

3.2 仪器软件设计

控制检测仪运行的软件由单片机 C51 语言编写。该软件采用模块化编程方法,主要包括以下函数:

(1)主函数。完成变量、液晶显示器、ADC 和定时器的初始化,以及调用子函数和实现动态显示的功能。主函数的流程图如图 7 所示。

(2)电导率检测子函数。完成电导率数据的

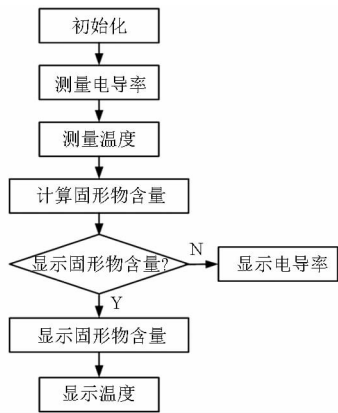


图 7 程序流程图
Fig. 7 Program flow chart

A/D 转换、数字滤波、ADC 非线性校正等功能。函数的返回值为校正过的浮点型电导率。

(3)温度检测子函数。由于 DS18B20 型温度传感器的输出为数字量,因此按照传感器的通信协议编写温度检测子函数,按时序将温度数据读出。温度检测子函数的返回值为浮点型摄氏温度。

(4)总固形物含量计算子函数。依据式(1)的豆浆电导率与其总固形物含量和温度的关系,在已知总固形物含量和温度的前提下,应用牛顿迭代法计算总固形物含量。

(5)显示子函数。将测量得到的浮点型电导率和温度,以及计算的总固形物含量转换成能被 LCD1602 直接显示的字符型数组,进而完成动态显示的任务。

4 仪器性能试验

按照 1.2 节所述的方法随机制备了总固形物含量在 2.00 ~ 8.00 g/(100 mL)间 32 个总固形物含量下的样品,并用干燥法测量样品的实际总固形物含量。

对于每个总固形物含量的样品,在 20 ~ 70℃ 的温度范围内随机选取 3 个温度,用自制仪器测量样品的总固形物含量。每个温度下测量 3 次,取 3 次

的平均值作为测量结果,共获得 96 个数据。图 8 是总固形物含量的测量值与实际值的比较。结果说明,当豆浆总固形物含量在 2.00 ~ 8.00 g/(100 mL)范围内时,测量误差范围 -0.52 ~ 0.37 g/(100 mL),平均绝对误差为 0.17 g/(100 mL)。此外,对数据进一步分析发现,当温度在 50℃ 以内时,误差较小,而当温度较大时,误差稍偏大。

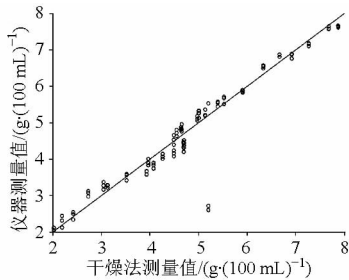


图 8 干燥法测量的总固形物含量与所设计仪器测量值的比较

Fig. 8 Comparison of measured total solids contents of soybean milk by drying method and by using developed solids content meter

5 结束语

通过对总固形物含量 2.13 ~ 6.50 g/(100 mL) 的豆浆样品在 20 ~ 70℃ 下电导率影响研究说明,豆浆的电导率随着总固形物含量和温度的增加而增大;可用二元二次模型表达电导率与总固形物含量和温度的关系,该模型的决定系数为 0.994。设计了以 STC12C5A16S2 单片机为核心的便携式豆浆总固形物含量检测仪。该检测仪对总固形物含量的测量结果表明,当豆浆的总固形物含量在 2.00 ~ 8.00 g/(100 mL) 时,该检测仪的总固形物含量测量误差范围为 -0.52 ~ 0.37 g/(100 mL),平均绝对误差为 0.17 g/(100 mL)。本研究为豆浆品质的检测提供了一种快速检测技术和仪器。

参 考 文 献

1 GIRI S K, MANGARAJ S. Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder[J]. Food Engineering Reviews, 2012, 4(3): 149 - 164.

2 李旻怡. 豆浆工艺的嬗变[J]. 大豆科技, 2014(6): 6 - 13.

3 梁晓丽, 许钰麒, 范志红. 豆浆对慢性病的预防与控制作用研究进展[J]. 中国食物与营养, 2010(11): 73 - 76. LIANG Xiaoli, XU Yuqi, FAN Zhihong. Research advancement of soy milk's prevention and treatment effect on chronic diseases [J]. Food and Nutrition in China, 2010(11): 73 - 76. (in Chinese)

4 吴月芳. 我国豆浆行业现状及日美豆浆市场与标准[J]. 食品工业科技, 2014(7): 14 - 16, 18. WU Yuefang. Present standards situation of Japan and the US soy milk industry[J]. Food and Beverage Industry, 2014(7): 14 - 16, 18. (in Chinese)

5 CAI T D, CHANG K C. Dry tofu characteristics affected by soymilk solid content and coagulation time[J]. Journal of Food Quality, 1997, 20(5): 391 - 402.

6 韩智, 石谷孝佑, 李再贵. 不同豆浆浓度和浆液深度对腐竹生产的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 179 - 181.

- HAN Zhi, ISHITANI Takasuke, LI Zaigui. Effects of different soymilk concent rations and depth on the formation of yuba [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(11): 179 – 181. (in Chinese)
- 7 邱燕燕, 孙娟娟, 魏肖鹏, 等. 近红外法测定豆浆蛋白质、脂肪和可溶性固形物含量[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(10): 123 – 126.
- QIU Yanyan, SUN Juanjuan, WEI Xiaopeng, et al. Determination of protein, fat and soluble solids content of soy milk by near-infrared spectroscopy[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(10): 123 – 126. (in Chinese)
- 8 MABROOK M F, PETTY M C. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2002, 84(2 – 3): 136 – 141.
- 9 丁伟, 杨百亮, 黄素珍, 等. 利用电导率检验牛奶掺假[J]. 中华预防医学杂志, 1995, 29(4): 251 – 252.
- 10 GUO Wenchuan, LIU Yi, ZHU Xinhua, et al. Sensing the water content of honey from temperature-dependent electrical conductivity[J]. Measurement Science & Technology, 2011, 22(8): 1312 – 1327.
- 11 ICIER F, ILICALI C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating[J]. Food Research International, 2005, 38(10): 1135 – 1142.
- 12 徐坤, 张西良, 李萍萍, 等. 便携式无土栽培基质多参数无线检测仪[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 302 – 309.
- XU Kun, ZHANG Xiliang, LI Pingping, et al. Development of portable wireless detector for multi-parameter of soilless cultivation substrates[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 302 – 309. (in Chinese)
- 13 李鑫星, 王聪, 田野, 等. 基于 ZigBee 的多参数水质在线监测系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(增刊): 168 – 173.
- LI Xinxing, WANG Cong, TIAN Ye, et al. Online monitoring system for water quality parameters based on ZigBee [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.): 168 – 173. (in Chinese)
- 14 BOZKURT H, ICIER F. Electrical conductivity changes of minced beef-fat blends during ohmic cooking[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(1): 86 – 92.
- 15 DARVISHI H, KHOSTAGHAZA M H, NAJAFI G. Ohmic heating of pomegranate juice: electrical conductivity and pH change [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2013, 12(2): 101 – 108.
- 16 JIN Y, CHENG Y D, FUKUOKA M, et al. Electrical conductivity of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fillets during ohmic heating[J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(9): 1904 – 1913.
- 17 熊秀芳, 靳莉珍, 李星恕, 等. 基于流变和电特性的豆浆凝固过程动力学解析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 211 – 218.
- XIONG Xiufang, JIN Lizhen, LI Xingshu, et al. Kinetic model of coagulation process of soymilk gel based on electrical and rheological properties[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4): 211 – 218. (in Chinese)
- 18 李法德, 李里特, 辰巳英三. 不同加热条件对豆浆电导率的影响[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 107 – 111, 103.
- LI Fade, LI Lite, EIZO Tatsumi. Effect of heating condition on electrical conductivity of soybean milk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(6): 107 – 111, 103. (in Chinese)
- 19 李法德, 孙玉利, 李陆星. 连续通电加热条件下豆浆的电导率[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 275 – 278.
- LI Fade, SUN Yuli, LI Luxing. Electrical conductivity of soybean milk during cooking with continuous ohmic heating device[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 275 – 278. (in Chinese)
- 20 郭文川, 康飞, 朱新华. 频率、温度和大豆蛋白对牛乳介电特性的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 274 – 278, 115.
- GUO Wenchuan, KANG Fei, ZHU Xinhua. Influence of frequency, temperature and soy protein on dielectric properties of raw milk dielectric properties of raw milk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 274 – 278, 115. (in Chinese)
- 21 ZHU Xinhua, GUO Wenchuan, WU Xiaoling. Frequency- and temperature-dependent dielectric properties of fruit juices associated with pasteurization by dielectric heating[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(2): 258 – 266.
- 22 ZHU Xinhua, GUO Wenchuan, LIANG Zhibin. Determination of the fat content in cow's milk based on dielectric properties[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(7): 1484 – 1494.
- 23 WU H, KOLBE E, FLUGSTAD B, et al. Electrical properties of fish mince during multi-frequency ohmic heating[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(6): 1028 – 1032.
- 24 SARANG S, SASTRY S K, KNIPE L. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(3): 351 – 356.
- 25 LIEN C C, SHEN Y C, TING C H. Ohmic heating for tofu making—a pilot study[J]. Journal of Agricultural Chemistry & Environment, 2014, 3(2): 7 – 13.
- 26 宋华鲁, 闫银发, 宋占华, 等. 基于交流阻抗法的豆浆电特性检测[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊): 298 – 306.
- SONG Hualu, YAN Yinfa, SONG Zhanhua, et al. Detection of electrical properties of soybean milk based on AC impedance method[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Supp.): 298 – 306. (in Chinese)