

数字式蜂蜜含水率检测仪设计*

张利凤 郭文川 付鹤翔 夏文斌
(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 对蜂蜜含水率的检测应提供便携、快速、精确、适于在线检测且能克服温度对测量结果影响的仪器。在实验基础上,基于蜂蜜电导率的检测原理,设计了数字式蜂蜜含水率检测仪。以洋槐蜂蜜为对象,通过实验建立了蜂蜜含水率(17%~43%)、温度(5~40℃)和电导率之间的数学模型。以8位单片机为控制器,DJS-1型电极作为电导率传感器,DS18B20为温度传感器,设计了检测仪的硬件系统,利用单片机C语言编写程序。检测实验结果表明:每个样品的测量时间在3s内,测量精度为±0.5%。

关键词: 蜂蜜 含水率 检测 温度 电导率
中图分类号: S896.8; S237 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0139-05

Design of Digital Honey Water Content Meter

Zhang Lifeng Guo Wenchuan Fu Hexiang Xia Wenbin
(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

In order to offer a meter with the characteristics of easy taking, quickly measuring, high precision, being suitable for online detection, and overcoming influence of temperature on measurement for honey water content detection, based on the experiment and electrical conductivity detection principle, a honey water content meter was designed. Firstly, yellow-locust honey was used to establish the mathematical model among water content (17%~34%), temperature (5~40℃) and electrical conductivity. Then the hardware was designed with single chip micro-computer (SCM) of 8 bits as controller, DJS-1 electrode and DS18B20 as sensors of electrical conductivity and temperature, respectively. The software was programmed with C language of SCM. The detection results showed that the measurement time of one sample was within 3 s and the precision was ±0.5%.

Key words Honey, Water content, Detection, Temperature, Electrical conductivity

引言

蜂蜜是一种复杂的糖类饱和溶液,主要成分是葡萄糖和果糖,还含有丰富的酶类、蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质元素等,具有很高的营养价值^[1]。根据我国国家标准对无公害蜂蜜的理化要求,蜂蜜的含水率不得超过24%(依蜂蜜品种的不同有所区别)^[2]。蜂蜜中掺水会降低其营养价值,故将含水率作为评价蜂蜜品质的一项基本指标。

目前,主要采用阿贝折射仪或手持式糖量计检

测样品的折光指数进而间接得到蜂蜜的含水率^[3]。前者多为实验室用仪器,虽然精度较高,但操作繁琐、不易搬动。在蜂蜜收购现场和生产加工过程中,多使用手持式糖量计,通过测量糖度得到含水率。该设备受人和环境因素影响大,精度较差,实际使用效果欠佳^[4]。此外,两种仪器均不能自动检测样品温度,从而不能对测量结果进行补偿,且检测数据无法自动保存和上传。为此,开发便携、精度良好、具有温度检测及自动补偿功能的仪器非常必要。

近年来,国内外的科研人员检测了不同种类蜂

收稿日期: 2010-06-29 修回日期: 2010-10-12
* 陕西省自然科学基金资助项目(SJ08-ZT06)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(QN2009043)
作者简介: 张利凤,硕士生,主要从事智能检测技术研究,E-mail: yhdss1986@163.com
通讯作者: 郭文川,教授,博士,主要从事农产品和食品品质检测技术研究,E-mail: guowenchuan69@126.com

蜜的电导率^[5-6]。通过实验发现蜂蜜含水率和温度会影响电导率,进而指出电导率可用于检测蜂蜜的含水率^[7-10]。但是尚未研发依据电导率检测蜂蜜含水率的检测仪。本文首先以洋槐蜂蜜为对象,通过实验获得洋槐蜂蜜的含水率、温度和电导率之间的关系,进而以 8 位单片机为控制器设计数字式蜂蜜含水率检测仪。

1 蜂蜜电导率与含水率、温度数学模型

1.1 实验材料和方法

1.1.1 实验材料

以杨凌当代蜂业有限公司生产的洋槐蜂蜜为实验对象,该样品总糖质量分数为 80.6%。实验期间样品在保质期内且没有结晶。

1.1.2 实验方法

实验前,由 WYA-2D 型阿贝折射仪(上海光学仪器五厂,中国)测得所购样品的原始含水率为 17.7%。然后将蜂蜜摇匀后分别倒出约 50 g 样品于烧杯中,用 FA2104 型电子天平(上海精密科学仪

器公司)称取一定量去离子水添加到已知质量的样品中,配制含水率范围为 17.7%~42.5% 的 12 个样本,每个样本制备样品 2 份。用玻璃棒将样品搅匀密封待用。在恒温水浴锅(DK-98-1 型,天津市泰斯特仪器有限公司)加入冰水混合液,将盛有样品的烧杯置于其上,同时将电导率仪(DDSJ-308A 型,上海精密科学仪器公司)的电极和温度传感器探头固定在一起,插入蜂蜜样品中。设定水浴锅的温度为 5℃,待电导率仪上显示蜂蜜的温度达到 5℃ 且稳定后,读取电导率的数值。然后依次设定水浴锅温度为 10、15、20、25、30、35 和 40℃。各样品每个数据点重复检测 3 次,以 2 份样品共 6 次测量的平均值为实验结果。

1.2 实验结果分析

1.2.1 含水率和温度对洋槐蜂蜜电导率的影响

表 1 为洋槐蜂蜜样品在不同含水率以及温度下的电导率。由表 1 可知,当温度恒定时,电导率随样品含水率的增加而增大;同一含水率下,电导率随温度的升高而增大。

表 1 不同含水率、温度时的洋槐蜂蜜电导率												
Tab.1 Effects of water content and temperature on electrical conductivity of yellow-locust honey												
温度 /℃	含水率/%											
	17.7	21.3	23.2	25.2	27.3	29.4	31.5	33.4	35.5	37.6	40.1	42.5
5	0.17±0.00	0.53±0.02	0.87±0.04	1.64±0.04	3.25±0.22	4.48±0.12	5.65±0.22	6.04±0.20	8.28±0.21	8.78±0.32	15.20±0.31	21.00±0.35
10	0.27±0.01	0.81±0.04	1.13±0.06	2.14±0.25	4.08±0.35	5.19±0.31	6.96±0.36	7.70±0.15	9.83±0.32	10.16±0.29	18.32±0.36	24.40±0.47
15	0.35±0.03	1.14±0.07	1.66±0.08	2.77±0.16	5.03±0.40	5.69±0.34	8.68±0.31	9.33±0.38	12.36±0.52	13.29±0.46	22.20±0.14	28.30±0.33
20	0.52±0.02	1.37±0.09	2.29±0.12	3.69±0.29	6.41±0.47	6.99±0.27	10.84±0.17	11.72±0.46	15.32±0.06	16.85±0.44	27.00±0.53	33.60±0.22
25	0.70±0.03	1.62±0.19	3.01±0.26	4.85±0.47	7.92±0.52	9.10±0.43	13.38±0.55	14.88±0.51	19.70±0.57	21.80±0.55	33.10±0.58	41.30±0.58
30	0.91±0.06	1.86±0.26	4.40±0.32	6.48±0.38	9.86±0.43	10.78±0.26	16.40±0.48	18.40±0.47	24.80±0.62	29.50±0.68	39.40±0.72	48.20±0.65
35	1.14±0.08	2.33±0.29	5.75±0.28	8.19±0.42	12.59±0.55	13.43±0.25	20.30±0.50	23.10±0.66	30.40±0.53	36.60±0.60	46.50±0.61	55.40±0.72
40	1.38±0.13	2.82±0.37	6.44±0.41	10.16±0.50	15.30±0.38	15.90±0.47	23.40±0.31	27.30±0.42	35.30±0.70	42.50±0.53	52.00±0.80	61.60±0.46

蜂蜜含水率、温度与电导率三者之间的响应曲面如图 1 所示。图 1 表明,当蜂蜜样品的含水率较低时,温度对电导率的影响较小;而含水率较高时,电导率随着温度的增加迅速增大。含水率和温度对电导率的影响具有明显的规律性。利用 Design-Expert 7.1.6 软件对实验数据进行二元回归拟合,其拟合方程为

$$\sigma = -20.995 + 2.6594W + 0.36606T - 0.053106WT - 0.10791W^2 - 2.0636 \times 10^{-3}T^2 + 1.2308 \times 10^{-3}W^2T + 6.7875 \times 10^{-4}WT^2 + 1.5687 \times 10^{-3}W^3 - 1.4942 \times 10^{-4}T^3 \quad (1)$$

式中 σ ——蜂蜜电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$
 W ——蜂蜜含水率, %
 T ——蜂蜜温度, $^{\circ}\text{C}$

对式(1)进行方差分析,结果见表 2。

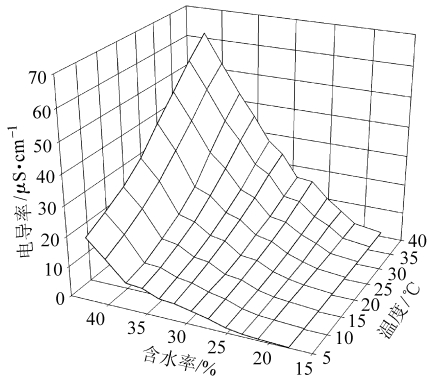


图 1 洋槐蜂蜜含水率、温度与电导率的响应曲面
Fig.1 Response surface of water content, temperature and electrical conductivity of yellow-locust honey

由表 2 可知,用式(1)的回归方程描述含水率、温度与电导率的关系时,模型的显著水平($P > F$)小于 0.000 1,表明该回归模型是极显著的。同时,

式(1)中,除 T^3 项外,各因素的一次项、二次项、交叉项都对模型有极显著的影响,因此蜂蜜的含水率和温度对电导率的影响不是单纯的线性关系。

表 2 回归模型方差分析
Tab.2 Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	比值 F	$P > F$	显著性
W	1 600. 41	1	1 600. 41	1 245. 78	<0. 000 1	* *
T	465. 99	1	465. 99	362. 73	<0. 000 1	* *
WT	2 066. 75	1	2 066. 75	1 608. 79	<0. 000 1	* *
W^2	1 025. 57	1	1 025. 57	798. 32	<0. 000 1	* *
T^2	103. 88	1	103. 88	80. 87	<0. 000 1	* *
$W^2 T$	53. 17	1	53. 17	41. 39	<0. 000 1	* *
WT^2	34. 62	1	34. 62	26. 95	<0. 000 1	* *
W^3	33. 29	1	33. 29	25. 91	<0. 000 1	* *
T^3	2. 70	1	2. 70	2. 10	0. 150 6	
模型	19 825. 13	9	2 202. 79	1 714. 68	<0. 000 1	* *
误差	120. 76	94	1. 28			
总和	19 945. 89	103				

注: * * 为 $P > F$ 值小于等于 0. 01,意为极显著。

1. 2. 2 模型检验

为了检验模型的正确性,随机配备了含水率在 17% ~ 43% 范围内的蜂蜜溶液 7 份,对每份样品分别检测了温度在 10、25、35℃ 时的电导率,每个实验重复 3 次,取 3 次的平均值作为检测结果。以 DDSJ-308A 电导率仪检测的电导率为实测值,将温度和含水率代入式(1)计算的电导率为计算值,二者的线性相关系数为 0. 986,如图 2 所示。说明式(1)可以很好地表示洋槐蜂蜜的含水率、温度与电导率之间的关系。因此,当已知蜂蜜的电导率和温度时,可根据式(1)计算出蜂蜜的含水率。

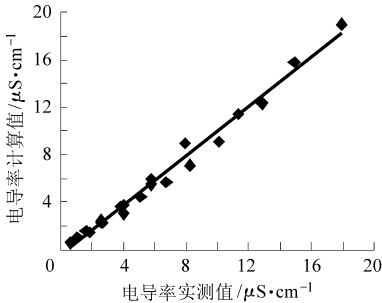


图 2 不同含水率洋槐蜂蜜电导率实测值与预测值
Fig.2 Predicated electrical conductivity vs measured of yellow-locust honey at different water contents

2 蜂蜜含水率检测仪设计

2. 1 硬件系统总体方案

根据系统功能,硬件系统主要包括单片机、电导

率检测及信号调理、A/D 转换、温度采集、键盘、液晶显示电路等,如图 3 所示。

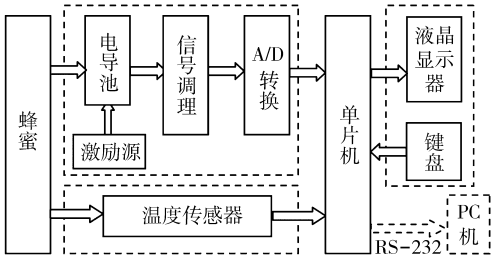


图 3 硬件系统原理框图
Fig.3 Schematic of hardware system

通过键盘输入检测命令,硬件电路完成蜂蜜电导信号和温度信号的检测。由于电导是电阻的倒数,只需要计算电极的电阻就可得出相应的蜂蜜电导率^[11]。把电导电极插入到待测蜂蜜样品中,并串联分压电阻,构成电导率检测电路;将激励源产生的方波信号加载到电路中,检测分压电阻的电压,经信号调理和 A/D 转换后输送到单片机。蜂蜜温度的测量,采用数字式温度传感器,可直接将结果输送给单片机。由单片机计算出电导率和温度后,根据式(1)反算出该样品的含水率,通过液晶显示器显示结果。为了便于在线检测,可通过 RS-232 接口将经单片机处理后的电导率、温度和含水率数据上传到计算机,以便分析。

2. 1. 1 单片机

选用低功耗、高性能的 CMOS 型 8 位微控制器

AT89S52 单片机作为控制器件。其内部有 8kB Flash 存储器,256 B RAM,并具有 32 个 I/O 口线,3 个16 位定时器/计数器,以及 1 个全双工串行口。其功能是实现数据的采集和运算,并控制各输入输出设备实现人机交互。

2.1.2 电导率检测模块

包括检测电路和信号调理电路。检测电路主要包括激励源和电导电极,如图 4 所示;信号调理电路主要包括偏移放大电路、采样保持和 A/D 转换电路。

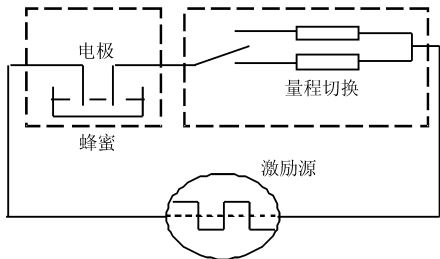


图 4 电导率检测电路
Fig. 4 Conductivity detection circuit

(1) 激励源。电导率的测量原理就是按欧姆定律测定平行电极间溶液的电阻。但当电流通过电极时,会发生氧化或还原反应,从而改变电极附近溶液的组成,产生极化现象,对电导测量结果带来较大的误差。为了减轻或消除上述极化现象,本设计采用占空比为 50%、正负极性相反的方波作为系统的检测信号。这样使得电极表面的氧化和还原迅速交替进行,其结果与没有发生氧化或还原基本相同,从而忽略溶液的极化效应。通常当被测溶液的电导率较小时采用低频,反之采用高频。蜂蜜的电导率一般较小,在 0 ~ 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间,为此采用低压基准芯片 MC1403 和模拟开关产生 $\pm 2.5\text{ V}$ 、100 Hz 的方波信号作为本仪器的激励源。

(2) 电导电极。为了减轻极化效应对电极测量精度的影响,选用适合蜂蜜电导率测量的 DJS-1C 型铂黑电极为测量电极,其电极常数为 0.967。

(3) 偏移放大电路。由于方波激励信号经过电导电极后,分压电阻两端是正负极性的微弱方波电压信号。为了提高测量精度,对信号进行了偏移和放大,将其转换成 0 ~ 5 V 的电压信号,电路如图 5 所示。

(4) 采样保持和 A/D 转换电路。由于信号经调理后是电压型模拟信号,为了能被计算机识别,必须进行采样、保持和 A/D 转换。选用 LF398 型采样保持器完成信号的采样,采样频率为 200 Hz。用 0.01 μF 的聚苯乙烯电容作为保持器保持采样信号。选用转换时间仅 10 μs 的 10 位 TLC1543 型

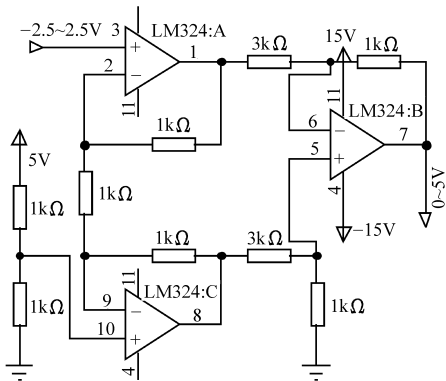


图 5 偏移放大电路
Fig. 5 Offset amplifier circuit

A/D 转换器完成模数转换。为了消除干扰信号对 A/D 转换结果的影响,采用平均滤波法对信号进行预处理。

2.1.3 温度检测电路

在测量电导率时必须同时测量样品温度。温度采集选用 DALLAS 公司生产的单总线数字型温度传感器 DS18B20。它具有微型化、低功耗、高性能、抗干扰能力强、易于与微处理器接口等优点。在 -10 ~ 85 $^{\circ}\text{C}$ 的范围内的误差为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,可以满足本系统对温度采集的要求。

2.1.4 输入输出电路

该检测仪采用 3 × 3 的键盘实现功能输入,包括 ON/OFF(开/关)、含水率/电导率(显示切换)、储存(存储当前数据)、查阅(查看存储的数据)、删除(删除不需要的存储数据)、确认、取消以及功能切换按键。

检测结果显示于 LCD1602 型液晶显示器上,显示内容为含水率(或电导率)和温度,还可以显示已存储的数据等。

2.2 系统软件设计

程序主要采用单片机 C 语言编写。主要包括:

(1) 系统主程序。主要完成液晶显示器、A/D 转换器、温度传感器等主要元器件和中断的初始化,同时根据需要调用子程序。

(2) 含水率计算子程序。是软件设计最关键的部分,其设计流程如图 6 所示。含水率的计算根据式(1)利用逐步逼近法进行反推,为了保证系统的计算速度,将逼近的步长设为 0.5。

(3) 温度采集及处理子程序。DS18B20 型温度传感器自带 A/D 转换功能,因此只需根据传感器的工作时序,读取实时温度值,并将其转换成十进制。

(4) 按键识别子程序和显示子程序。按键识别子程序主要用于识别按键、完成相应按键的功能,包括数据保存、浏览等。显示子程序实现含水率、温度

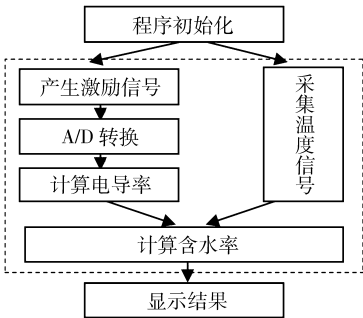


图 6 含水率计算子程序流程图

Fig. 6 Flow chart of water content calculation

以及存储数据等在 LCD1602 型液晶显示器上的显示。

(5) 串行通信子程序。包括下位机和上位机两部分,负责协调单片机与 PC 机之间的通信协议,完成数据的传输功能。上位机程序使用 VC 语言编写,可以接收并导出实验数据。

3 检测结果验证

实验对象仍选用杨凌当代蜂业有限公司生产的洋槐蜂蜜。通过添加去离子水配置含水率为17% ~ 43%的待测蜂蜜样品,分别用阿贝折射仪和本文设计的蜂蜜含水率测量仪测量室温(25℃)下的含水率,各样品重复实验 3 次,以平均值作为检测结果。检测结果如表 3 所示。

由表 3 可知,与阿贝折射仪测量结果相比,本检测仪对室温下蜂蜜含水率的检测精度在 ±0.4% 范围内。由于阿贝折射仪的测量精度为 ±0.1%,综合

表 3 25℃时阿贝折射仪和本文设计的蜂蜜含水率检测仪的含水率测量结果对照

Tab.3 Contrast of measured water contents by Abbe refractometer and self-designed meter at 25℃

样品 序号	阿贝折射仪测量的 含水率/%	本文所设计仪器 测量的含水率/%	误差 /%
1	17.8	17.5	-0.3
2	20.4	20.5	0.1
3	24.5	24.5	0
4	28.3	28.5	0.2
5	32.2	32.0	-0.2
6	36.6	37.0	0.4
7	40.1	40.5	0.4
8	43.2	43.0	-0.2

考虑本仪器的测量精度在 ±0.5% 内,能满足蜂蜜含水率检测的需求,且每个样品的测量时间在 3 s 内。

4 结束语

通过对 5 ~ 40℃ 下含水率为 17% ~ 43% 的洋槐蜂蜜溶液电导率的测量,发现蜂蜜的含水率和温度对其电导率有显著影响。在此基础上建立了蜂蜜温度、含水率与电导率之间的关系模型,并对模型进行了验证。进而以单片机为控制器设计了能同时检测温度和电导率并根据温度和电导率值计算蜂蜜含水率的检测仪。该仪器可通过键盘选择预期功能、通过液晶显示器显示结果,同时还能将检测数据上传给上位机。

参 考 文 献

1 翟文俊. 蜂蜜酒的营养价值与保健作用[J]. 食品科技, 2004(8):62 ~ 65.
Zhai Wenjun. Nutritious value and health-care function of mead[J]. Food Science and Technology, 2004(8):62 ~ 65. (in Chinese)

2 NY 5134—2008 无公害食品 蜂蜜[S].

3 刘香斌, 吴月艳. 高精度数字折光仪[J]. 计量技术, 2007(10):9 ~ 10.
Liu Xiangbin, Wu Yueyan. High-precision digital refractometer [J]. Measurement Technique, 2007(10):9 ~ 10. (in Chinese)

4 黄宏, 蔡晓辉, 汤腊梅. 手持式智能折光仪设计[J]. 中国仪器仪表, 2002(4):8 ~ 10.
Huang Hong, Cai Xiaohui, Tang Lamei. Design and development of hand-held intelligent refractometer [J]. China Instrumentation, 2002(4):8 ~ 10. (in Chinese)

5 Popek S. A procedure to identify a honey type[J]. Food Chemistry, 2002, 79(3):401 ~ 406.

6 Kakoniene V, Venskutonis P R, Ceksteryte V. Carbohydrate composition and electrical conductivity of different origin honeys from Lithuania[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(5): 801 ~ 807.

7 Kasperova J, Nagy J, Mesarcova L, et al. Comparison of water content, water activity and electric conductivity in honey of various origin[J]. Slovensky Veterinarsky Casopis, 2009, 34(1): 37 ~ 39.

开,而且区分效果与 PCA 分析结果相比更好,同一质量比的样品更集中,不同质量比样品的类间距更大,分类很明显。

由图 4b 可知,乙酰甲胺磷及 KB 样品的区分效果也更好。同样,与 PCA 分析结果相比,相同质量比的样品更加集中,不同质量比样品的类间距更大,分类也很明显。

FDA 分析结果与 PCA 分析结果一致,充分说明了小波包对传感阵列信号的降噪效果非常显著。由于不同农药残留可被鉴别,这就为进一步的定量检

测奠定了基础。

4 结束语

应用小波包分解与阈值化处理可降低噪声的污染,利用小波包重构可获得少噪声的气敏传感阵列信号。PCA 和 FDA 两种鉴别分析结果表明,小波包降噪方法对传感器信号是非常有效的,提高了传感阵列的检测能力。此研究为气敏传感阵列检测蔬菜农药残留时的微弱信号降噪提供了一种有效手段,同时也为蔬菜农药残留的定量检测奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 徐茂勃,殷勇,于慧春. 电子鼻鉴别有机磷农药的一种特征提取方法[J]. 传感器与微系统,2008,28(9):25~27.
Xu Maobo, Yin Yong, Yu Huichun. Feature extraction method for recognition of organophosphorus pesticides by electronic nose[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2008, 28(9): 25~27. (in Chinese)
- 2 申永军,杨绍普,张光明. 基于分数 Fourier 变换的自适应信号降噪方法[J]. 振动工程学报,2009,22(3):292~297.
Shen Yongjun, Yang Shaopu, Zhang Guangming. Adaptive noise reduction method based on frational Fourier transform[J]. Journal of Vibration Engineering, 2009, 22(3): 292~297. (in Chinese)
- 3 To A C, Moore J R, Glaser S D. Wavelet denoising techniques with applications to experimental geophysical data[J]. Signal Processing, 2009, 89(7): 144~160.
- 4 Ghugre N R, Martin M, Scadeng M, et al. Superiority of 3D wavelet-packet denoising in MR microscopy[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2003, 21(3): 913~921.
- 5 孔德顺,申永军,张光明. 基于小波包变换相关性的信号降噪方法及齿轮故障诊断[J]. 石家庄铁道学院学报:自然科学版,2008,21(1):55~60.
Kong Deshun, Shen Yongjun, Zhang Guangming. De-noising method based correlativity of wavelet packet transform and application in fault diagnosis of gear-box[J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute: Natural Science, 2008, 21(1): 55~60. (in Chinese)
- 6 葛哲学,沙威. 小波分析理论与 MATLAB2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007: 115~126.
- 7 胡波,陈恳,徐建瑜. 一种基于新型小波包阈值的图像去噪方法[J]. 宁波大学学报:理工版,2009,22(4):454~458.
Hu Bo, Chen Ken, Xu Jianyu. A method for image de-noising based on new wavelet packet threshold [J]. Journal of Ningbo University: NSEE, 2009, 22(4): 454~458. (in Chinese)
- 8 曲国庆,党亚民,章传银,等. 小波包消噪方法分析及改进[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(4):102~106.
Qu Guoqing, Dang Yamin, Zhang Chuanyin, et al. Analysis and improvement of de-noising method for wavelet packet[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008, 28(4): 102~106. (in Chinese)

(上接第 143 页)

- 8 董怡为,鲁亚芳. 蜂蜜的电特性——蜂蜜的电导率与蜂蜜成分的关系[J]. 食品科学, 1991,12(11): 8~10.
Dong Yiwei, Lu Yafang. Electrical property of honey—the relationship between honeys’ electrical conductivity and composition[J]. Food Science, 1991, 12(11): 8~10. (in Chinese)
- 9 查忠秀,鲁亚芳,董怡为. 温度对蜂蜜的电导率的影响[J]. 食品科学, 1991,12(12):4~7.
Zha Zhongxiu, Lu Yafang, Dong Yiwei. Effect of temperature on honeys’ electrical conductivity[J]. Food Science, 1991, 12(12):4~7. (in Chinese)
- 10 赵冬香,高景林. 蜂蜜含水量、电导率及温度间变化规律初探[J]. 山西大学学报:自然科学版, 1996, 19(4):446~450.
Zhao Dongxiang, Gao Jinglin. Preliminary study on change rules among water content, electrical conductivity and temperature of honey[J]. Journal of Shanxi University:Natural Science Edition, 1996, 19(4):446~450. (in Chinese)
- 11 王凤花,裴正军,介邓飞,等. 农田土壤 pH 值和电导率采集仪设计与试验[J]. 农业机械学报,2009, 40(6):164~168.
Wang Fenghua, Qiu Zhengjun, Jie Dengfei, et al. Design and experiment on the field information pH value and electrical conductivity acquisition instrument[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):164~168. (in Chinese)