

便携式豆类品质监控系统研究

彭彦昆^{1,2} 霍道玉^{1,2} 左杰文^{1,2} 孙晨^{1,2} 胡黎明^{1,2} 王亚丽^{1,2}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 国家农产品加工技术装备研发分中心, 北京 100083)

摘要: 传统的破坏性检测方法已难以满足豆类品质快速检测的需求。现有的无损检测设备存在稳定性及准确性不高等问题,为提高豆类品质含量检测装置的性能,基于近红外光谱技术研究了豆类品质无损检测装置,体积小、便于携带,能够适用于现场检测。基于所研发的装置,各取30个黄豆、绿豆、红豆、黑豆样本,通过旋转静态采集多次光谱求平均值与采集1次光谱的方式,对同一样品重复测量20次,得出随着采集次数的增加,光谱反射率变异系数平均值逐渐减小直至平缓,选取最佳豆类采集次数分别为16、8、14、16,对应的光谱变异系数平均值分别为2.9%、2.435%、2.763%、3.019%。以黄豆为例,选取80个样品,使用不同的预处理方法,分别建立黄豆蛋白质、粗脂肪和淀粉含量的偏最小二乘预测模型,结果表明,蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数预测的最优模型预处理方式分别为SG-MSC、SNV、SNV,其预测集相关系数 R_p 分别为0.9746、0.9505、0.9607,均方根误差分别为0.249%、0.572%、0.623%。取40个黄豆样本对装置模型进行试验验证,蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数的独立验证相关系数 R_i 分别为0.9411、0.9439、0.9334,独立验证均方根误差分别为0.465%、0.604%、0.673%,重复测量20次的平均偏差分别为0.409%、0.623%、0.637%,各参数重复测量20次变异系数分别为1.257%、0.896%、0.964%。结果表明,该装置具有良好的预测精度。以Visual Studio 2015为软件开发平台开发了豆类品质含量实时检测软件,实现多粒豆类品质情况“一键式操作”检测。选用阿里云服务器和MySQL数据库,基于TCP/IP网络通信协议,实现检测数据自动上传至数据库。基于若依开发框架设计了便于豆类品质监测的前端网络监控系统,实时显示数据库信息。

关键词: 豆类; 品质; 无损检测; 近红外光谱

中图分类号: S237 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2023)07-0404-08

OSID:



Portable Bean Quality Detecting Device System

PENG Yankun^{1,2} HUO Daoyu^{1,2} ZUO Jiewen^{1,2} SUN Chen^{1,2} HU Liming^{1,2} WANG Yali^{1,2}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. National R&D Center for Agro-processing Equipment, Beijing 100083, China)

Abstract: Traditional destructive detection methods have been unable to meet the requirements of rapid detection of quality content of beans. The existing non-destructive testing equipment has the problems of low stability and accuracy. In order to improve the performance of the device for detecting the quality content of beans, a non-destructive testing device for the quality content of beans was developed based on near infrared spectroscopy technology, which was small, portable and suitable for on-site detection. Based on the developed device, totally 30 samples of soybean, mungbean, red bean and black bean were taken respectively, and the same sample was measured 20 times by means of rotating static multi-spectral averaging and one spectral acquisition. It was concluded that with the increase of acquisition times, the average coefficient of variation of spectral reflectance was gradually decreased until it was flat. The selected bean acquisition times were 16, 8, 14 and 16, and the corresponding average coefficient of variation of spectrum were 2.9%, 2.435%, 2.763% and 3.019%, respectively. Taking soybean as an example, totally 80 samples were selected. Using different pretreatment methods, partial least squares prediction models for protein, crude fat and starch content of soybean were established respectively. The results showed that protein, crude fat and starch models were better than other pretreatments after SG-MSC, SNV and SNV pretreatment, respectively. The R_p were 0.9746, 0.9505 and 0.9607, and the

收稿日期: 2023-02-25 修回日期: 2023-05-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1600101-06)

作者简介: 彭彦昆(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事农畜产品无损检测技术与装备研究,E-mail: ypeng@cau.edu.cn

RMSEP were 0.249% , 0.572% and 0.623% , respectively. Totally 40 soybean samples were taken to validate the device model. The R^2 of protein, crude fat and starch were 0.941 1, 0.943 9 and 0.933 4, respectively. The RMSEI were 0.465% , 0.604% and 0.673% , respectively. The AD of 20 repeated measurements were 0.409% , 0.623% and 0.637% , respectively. The results showed that the device had good prediction accuracy. Visual Studio 2015 was used as the software development platform to develop the real-time detection software for the quality of beans, which can realize the one-button operation detection of the quality of multiple beans. Elastic compute service and MySQL database were selected. Based on TCP/IP network communication protocol, the detection data were uploaded to the database automatically. Based on the development framework, a front-end network monitoring system was designed to facilitate the monitoring of bean quality and display the database information in real time.

Key words: beans; quality; nondestructive testing; near infrared spectroscopy

0 引言

我国是豆类生产和消费大国,随着人们生活水平的提高,对豆类品质提出了更高的要求^[1]。我国是传统的农业大国,豆类产业在我国经济领域占有重要地位^[2]。豆类主要分为大豆和杂豆。蛋白质和脂肪含量是衡量大豆品质的两个重要指标^[3],蛋白质和淀粉含量是衡量杂豆品质的重要指标^[4],我国大豆国家标准(GB 1352—2009)中规定了高油大豆的粗脂肪含量等级标准和高蛋白大豆的蛋白质含量等级标准,对于不同等级的大豆收购价格不同。因此,研究豆类品质快速、无损检测方法及便携式装置具有重要意义。

可见/近红外光谱技术具有无损、操作简单、处理量大、客观准确、快速无污染等优点^[5],已被广泛用于大豆^[6-7]、玉米^[8-9]、小麦^[10-11]、大米^[12-13]等粮食作物的品质检测中。

国内外豆类品质成分含量无损检测研究中,文献[14]设计了基于光谱特征波长的便携式大豆粗脂肪含量检测系统,采用模块化设计并制作了装置。采用该系统对 48 个样本进行数据采集并建立模型,其校正集相关系数为 0.809 3,交叉验证均方根误差为 1.251 8,预测集相关系数为 0.798 6,均方根误差为 1.301 3,预测效果尚有待提升。文献[7]以迅捷光远科技有限公司 IAS-2000 型便携式近红外光谱仪对大豆蛋白含量开展研究,通过间隔偏最小二乘法建立模型,校正集相关系数为 0.962,交叉验证均方根误差为 0.396,验证集相关系数为 0.954,均方根误差为 0.498,建模效果较好,但其功能单一,不能检测其它豆类品质。丹麦福斯公司开发的近红外谷物分析仪能测量多种豆类及其指标,但体积及重量较大,不适合携带到现场进行实时检测。另外,这些研究对检测后的数据没有系统化管理,缺少对数据的再次利用,没有对各地区豆类品质情况进行统计分析以及监控。物联网技术是通过各种信息传感设备,实现物和物之间信息交换的一种网络技

术^[15-16],近年来广泛应用于农产品检测行业中。因此,综合利用光谱检测技术和物联网技术,在实现豆类样品检测的基础上完成对其品质的实时监控。

本文拟开发便携式豆类主要品质智能检测装置,通过提出的旋转一周间歇采集多次光谱求平均值分析方法,进一步提高设备检测性能。以黄豆为研究对象建立蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数预测模型,并验证装置的稳定性和准确性。基于物联网技术编写豆类品质实时监控系統,以实现对各地区豆类情况实时监控。

1 装置硬件设计

基于可见/近红外光谱仪,开发了豆类主要品质智能检测装置,主要包括控制单元、光源单元、散热单元、显示单元、机械结构单元等,装置的工作原理图如图 1 所示。控制单元负责控制旋转机构转动和光谱仪信号采集;光源单元负责发出稳定强度的光;散热单元负责装置的整体散热,防止出现过热的情况;显示单元负责显示采集的豆类数据情况;机械结构单元负责装置旋转一定的角度。

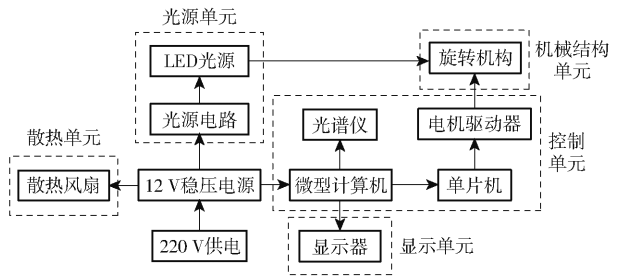


图 1 豆类主要品质检测装置原理图

Fig.1 Schematic of bean crude fat device

1.1 控制单元

本单元由光谱仪、微型计算机、单片机、步进电机驱动器等组成。其中光谱仪是整个装置的核心部件,其性能对整个装置的检测结果起决定性的因素。由于豆类是颗粒状物质,相比于透射方式,反射光谱信号强度较好,本装置采用近红外光谱漫反射的方式,如图 2 所示。

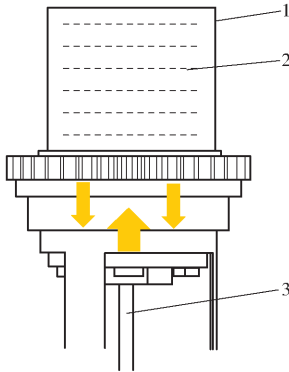


图2 采集方式示意图

Fig.2 Schematic of acquisition mode

1. 样品杯 2. 待测样品 3. 光纤

豆类的蛋白质、粗脂肪、淀粉等成分吸收波段主要集中在长波近红外区域^[17],故所选光谱仪为滨松C14486GA微型光谱仪,波长范围和稳定性可满足豆类品质定量分析,且尺寸小、重量轻,设备稳定,对外部环境要求不高,符合二次开发的要求,光谱仪具体参数如表1所示。

表1 C14486GA 微型光谱仪参数

Tab.1 Parameters information of C14486GA spectrometer

参数	数值
尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	80×60×12
质量/g	88
波长范围/nm	950~1 700
积分时间/μs	1~100 000
像素数量	256
狭缝宽度/μm	25

微型计算机选用 WalkFish 公司的 M1K_J4125 型迷你主机,其 CPU 为四核处理器,运行内存为 8 GB,且尺寸仅有 135 mm×45 mm×15 mm,质量仅有 85 g,可供自行编写的 C/C++ 软件程序运行。

单片机采用尺寸小巧的 Arduino NodeMCU,与步进电机驱动器相连作为旋转机构内步进电机的控制器。

1.2 显示单元

为方便用户使用本装置,不用鼠标便可检测豆类品质情况,采用可供触摸控制的 5 英寸液晶显示屏,尺寸为 121 mm×95 mm×10 mm,质量为 259 g,微型计算机通过 HDMI 线连接显示屏并负责显示屏的供电。

1.3 机械结构单元

旋转机构内部由步进电机(步距角 1.8°)、大小齿轮、支撑架、光谱采集模块等硬件组成,其结构如图 3 所示。通过步进电机控制小齿轮带动大齿轮转动,进而带动样品杯转动。

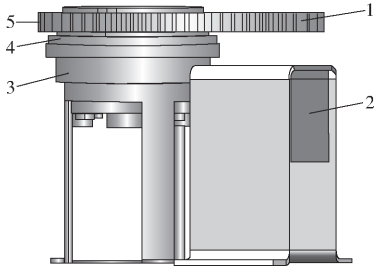


图3 旋转机构结构图

Fig. 3 Diagram of rotating structure

1. 小齿轮 2. 电机 3. 支撑架 4. 光谱采集模块 5. 大齿轮

1.4 光源单元

光源单元由 6 个卤素灯、反光杯和光纤组成,卤素灯光源光谱波段为 300~2 600 nm,覆盖了可见/近红外光谱的波段,为本装置提供稳定强度的光源,其结构示意图如图 4 所示。

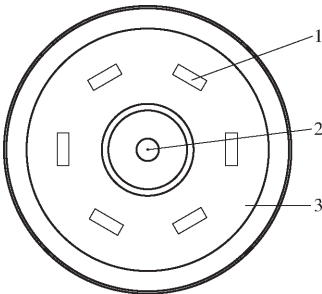


图4 光源结构示意图

Fig. 4 Illustration of light source structure

1. 卤素灯位置 2. 光纤 3. 反光杯

1.5 整机结构

壳体合理设计有助于内部零部件空间分配,减小不必要的空间,还可以对内部部件起保护支撑的作用。检测装置整体结构采用 SolidWorks 软件设计,其外观结构如图 5 所示,整机尺寸为 230 mm×225 mm×145 mm,质量为 3.1 kg,其外部由微型液晶显示屏、风扇、铝合金外壳等组成。在操作时,样品杯内盛满被测豆类样品并将其压实,放在装置上侧进行检测。

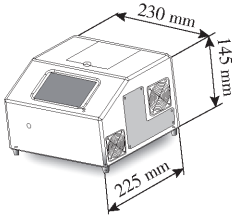


图5 豆类主要品质检测装置图

Fig. 5 Diagram of main bean quality testing device

2 材料与方法

2.1 样本材料及其化学分析

本文选用黄豆建立模型,从我国淮北地区选取 5 个广泛种植的黄豆品种,其名称分别为“中黄

57”、“荷豆 33”、“荷豆 12”、“中黄 13”和“中黄 37”。按照 GB 5491－85 进行取样,每个品种制备 16 个样品,每个样品 100 g,共 80 个样本,将其分装于封口塑料袋中,编号保存于 4℃ 的冰箱中。本文中校正集与预测集按照 3:1 进行分组,校正集 60 个样本,预测集 20 个样本。黄豆蛋白质含量标准理化值依据文献[18]所规定的凯氏定氮法进行测量;粗脂肪含量标准理化值依据文献[19]所规定的索氏抽提法进行测量;淀粉含量标准理化值依据文献[20]规定的酸水解法进行测量。对每个样本测量 3 次,最终结果为 3 次测量的平均值。

2.2 光谱采集与评估

由于豆类属于颗粒状物质,颗粒之间有间隙,从而影响装置的稳定性以及准确性,因此,在采集豆类近红外光谱时,采集过程中分为静态采集 1 次以及装置旋转一周采集样本 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 次光谱求平均值。由于本装置采用步进电机,故可以根据步进角来决定旋转角度,将样品杯一周 360°进行等分,并累加初始角度。装置旋转到进行静态采集的角度如表 2 所示。为减少采集过程中的不稳定性等因素,装置采用的是旋转间歇静态采集被测豆类样品的光谱。初始采集角度计算公式为

$$A_n = \frac{360^\circ}{n}$$

(1)

式中 n ——光谱采集次数,取 2、4、⋯、20
 A_n ——初始采集角度,(°)

表 2 旋转角度
Tab.2 Rotation angle

采集 次数 n	角度/(°)
2	180、360
4	90、180、270、360
6	60、120、180、240、300、360
8	45、90、135、180、225、270、315、360
10	36、72、108、144、180、216、252、288、324、360
12	30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360
14	26、52、78、104、130、156、180、206、232、258、284、310、336、360
16	22.5、45、67.5、90、112.5、135、157.5、180、202.5、225、247.5、270、292.5、315、337.5、360
18	20、40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240、260、280、300、320、340、360
20	18、36、54、72、90、108、126、144、162、180、198、216、234、252、270、288、306、324、342、360

本装置检测豆类品质含量基于漫反射光谱,其反射率计算公式^[21]为

$$R = \frac{I_s - I_b}{I_w - I_b} \times 100\%$$

(2)

式中 R ——光谱反射率,%
 I_b ——黑参考光谱反射强度,cd
 I_w ——白参考光谱反射强度,cd
 I_s ——样本光谱反射强度,cd

受豆类颗粒不均匀的影响,反射到光纤中的光谱会发生变化,不同豆类各取 30 个样本,对同一样本采用不同采集次数重复测量 20 次,在每次重复测量时需要将样品倒出再装入样品杯并压实,避免每次重复测量时底部豆类形态一致的情况,影响装置的测量准确度,分析重复测量所有样本原始光谱反射率的变异系数,得出最低光谱变异系数对应的采集光谱次数。

由于光散射会影响近红外光谱,而且随机噪声、装置加工误差以及测样条件不同会对装置效果产生影响^[22],因此需要采用预处理来消除原始光谱中的噪声信号,提高光谱的信噪比^[23]。本文采用 6 种预处理方式,分别为多元散射校正(Multiplicative correction, MSC)、标准正态变量变换(Standard normal variate, SNV)、归一化(Normalize, Nor)、S-G 平滑结合标准正态能量变换(SG-SNV)、S-G 平滑结合多元散射校正(SG-MSC)、S-G 平滑结合归一化(SG-Nor)^[24]。通过对比不同光谱预处理方式对所建立的偏最小二乘模型结果的影响,得出适合该研究的最优预处理方式。采用校正集相关系数 R_c 、校正集均方根误差(Root mean square error of calibration, RMSEC)、预测集相关系数 R_p 、预测集均方根误差(Root mean square error of prediction, RMSEP)对光谱预测模型进行评价^[25]。本文分析过程均在 Matlab R2016b 中完成。

3 结果与分析

3.1 黄豆成分分析

在本研究中,测得的黄豆样本品质成分含量见表 3。

表 3 黄豆样本品质含量检测结果
Tab.3 Detection results of soybean protein
and soybean sample quality

参数	分类	样本量	最小值/	最大值/	平均值/
		n	%	%	%
粗脂肪质量分数	校正集	60	16.05	21.95	19.59
	预测集	20	16.50	21.50	19.47
蛋白质质量分数	校正集	60	38.45	41.88	40.46
	预测集	20	38.89	41.83	40.39
淀粉质量分数	校正集	60	10.82	16.94	14.31
	预测集	20	10.85	16.85	14.58

对于黄豆各品质校正集含量范围均包括了预测集含量范围,为建立模型提供了有利条件^[25]。

3.2 样品光谱变异系数分析

在光谱采集之前,打开光谱仪与光源先预热 30 min,保证光源以及光谱仪的稳定性。各取 30 个不同尺寸的黄豆、红豆、黑豆、绿豆样本,对同一样本重复采集 20 次,以 30 个样本全波段光谱变异系数平均值来衡量采集光谱的稳定性,结果如表 4 所示。

表 4 不同采集次数光谱变异系数

Tab.4 Spectral variation coefficient of different acquisition times

采集次数 n	变异系数平均值/%			
	黄豆	绿豆	红豆	黑豆
1	4.146	3.271	3.735	4.479
2	3.505	3.071	3.633	4.263
4	3.298	2.735	3.487	4.076
6	3.214	2.635	3.289	3.536
8	3.109	2.435	3.092	3.248
10	2.943	2.445	3.015	3.198
12	2.928	2.435	2.915	3.135
14	2.917	2.434	2.763	3.096
16	2.900	2.432	2.765	3.019
18	2.905	2.444	2.773	3.025
20	2.904	2.432	2.765	3.020

从表 4 中可以看出,由于豆类颗粒大小不同,其全光谱的变异系数平均值也不同,使用相机拍摄的 4 种豆类图像如图 6 所示。

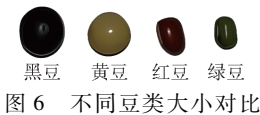


图 6 不同豆类大小对比

Fig.6 Comparison chart of different bean sizes

在上述豆类中,黑豆尺寸最大,装入样品杯测量时黑豆与黑豆之间的间隙较大,使得黑豆的变异系数相较其它 3 种豆高,采集 1 次光谱的变异系数为 4.479%,最不稳定,随着采集次数的增加,黑豆变异系数逐渐减小,采集 16 次以上光谱求平均值得到的光谱变异系数变化不大,考虑节省采集时间,选取 16 次为黑豆采集次数;黄豆尺寸次之,采集 1 次光谱变异系数为 4.416%,在采集 16 次光谱之后变异系数变化不大,选取 16 次为黄豆的光谱采集次数;红豆尺寸比黄豆小,采集 1 次光谱变异系数为 3.735%,在采集 14 次光谱之后变异系数变化不大,选取 14 次为红豆的光谱采集次数;绿豆尺寸最小,采集 1 次光谱变异系数为 3.271%,在采集 8 次光谱之后变异系数变化不大,而且其变异系数是所有豆类中最小的,选取 8 次为绿豆的光谱采集次数。颗粒尺寸越小,其光谱变异系数也就越小,分析其原

因是因为颗粒越小,豆与豆之间间隙也就越小,减弱了光的散射,所以其光谱稳定性就越好。

3.3 光谱数据建模

对划分了校正集和预测集的黄豆样品,采集其光谱与内部品质成分含量测量值建立偏最小二乘 (Partial least squares, PLS) 关系模型,进一步分析预测效果。表 5 为经过不同预处理方式得到的光谱数据 PLS 建模结果,可以看出,经过预处理后的模型相比于原始光谱得到了改善,分析其原因可能是因为预处理消除或降低了原始光谱噪声对数据的影响。在所建立的模型中,蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数模型分别经过 SG - MSC、SNV、SNV 预处理后优于其余预处理方法,原因可能是因为其它预处理方式引入了无关因素对数据产生影响,其最佳预测集相关系数 R_p 分别为 0.974 6、0.950 5、0.960 7,均方根误差 (RMSEP) 分别为 0.249%、0.572%、0.623%。

表 5 黄豆蛋白质、脂肪、淀粉含量全波长 PLS 建模结果

Tab.5 Modeling results of soybean protein, crude fat and starch contents with full wavelength PLS

参数	预处理方法	校正集		预测集	
		R_c	均方根误差/%	R_p	均方根误差/%
蛋白质质量分数	无	0.967 1	0.281	0.943 4	0.332
	SNV	0.983 5	0.213	0.972 3	0.286
	MSC	0.983 6	0.207	0.968 9	0.279
	Nor	0.983 4	0.214	0.972 0	0.288
	SG - SNV	0.985 5	0.178	0.972 5	0.255
	SG - MSC	0.987 7	0.171	0.974 6	0.249
	SG - Nor	0.975 7	0.207	0.968 8	0.276
粗脂肪质量分数	无	0.937 9	0.604	0.922 2	0.720
	SNV	0.959 1	0.492	0.950 5	0.572
	MSC	0.955 6	0.512	0.946 9	0.597
	Nor	0.955 6	0.512	0.947 0	0.596
	SG - SNV	0.947 7	0.554	0.942 0	0.620
	SG - MSC	0.942 6	0.580	0.945 2	0.609
	SG - Nor	0.942 7	0.580	0.945 3	0.609
淀粉质量分数	无	0.953 7	0.602	0.923 9	0.791
	SNV	0.964 0	0.525	0.960 7	0.623
	MSC	0.960 2	0.568	0.947 7	0.632
	Nor	0.961 9	0.555	0.948 0	0.627
	SG - SNV	0.955 7	0.578	0.955 2	0.666
	SG - MSC	0.951 4	0.629	0.943 3	0.663
	SG - Nor	0.951 4	0.634	0.943 3	0.663

4 装置软件设计

为方便用户查看被检豆类品质参数,设计实时分析软件,可供用户实时查看检测数据。基于 MFC

框架编写了豆类品质检测装置实时分析软件,该软件分为参数设置、检测控制、光谱显示和检测结果显示 4 部分。参数设置部分可以设置装置的积分时间以及采集装置黑白参考;检测控制部分可以控制旋转机构进行旋转和光谱仪采集光谱;光谱显示部分可以将采集的黑白参考以及被测豆的光谱显示出来;结果显示部分是将预处理后的预测值显示在屏幕上。

将建立的豆类各品质参数最佳预测模型数据导入到 txt 文件中,软件在执行过程中会将 txt 文件中模型数据转成数组格式加载在计算机内存中,在采集过程中,软件自动对光谱进行预处理并代入提前植入的模型中预测豆类主要品质含量,样品的最终检测结果会显示在如图 7 所示的软件界面上,其执行流程如图 8 所示。

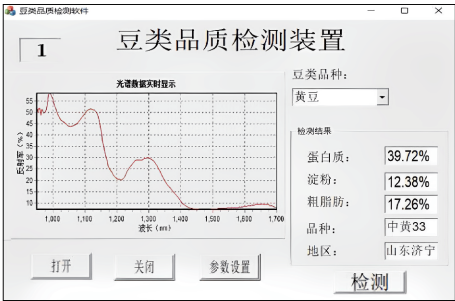


图 7 豆类品质成分含量检测软件界面
Fig. 7 Software for bean quality detection

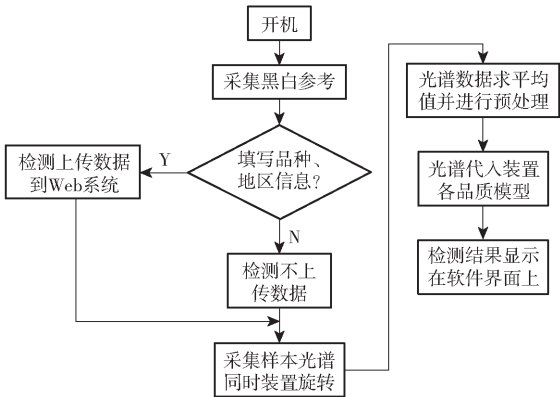


图 8 软件工作流程图
Fig. 8 Software workflow diagram

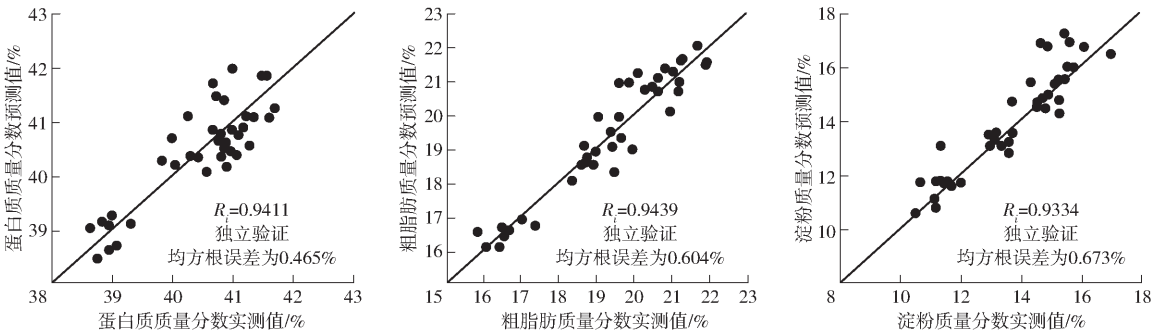


图 9 装置测试结果散点图
Fig. 9 Scatter plots of device test results

另外,在软件上,可在豆类选择下拉框中选择豆类以及填写被检豆类样品的品种、地区,基于 TCP/IP 技术,如果填写了检测豆类的品种和地区,点击“检测”按钮会将检测的数据结果、品种、地区以及检测时间自动上传至云端 MySQL 数据库来存储数据,反之,如果没有填写,只会在屏幕上显示检测结果而不会上传数据至云端。

5 试验验证

选择 40 个新的黄豆样品(参照国家标准方法测定出黄豆粗脂肪、蛋白质、淀粉质量分数分别为 15.86% ~ 22.02%、38.63% ~ 41.70%、10.60% ~ 17.28%),对其进行试验验证,验证效果通过独立相关系数 R_i ,独立验证均方根误差来评价装置的稳定性和准确性。最终验证结果如表 6 所示。

表 6 独立验证试验结果			
Tab. 6 Independent prediction of experimental results			
参数	预处理方法	验证集	
		R_i	均方根误差/%
蛋白质质量分数	SG - MSC	0.941 1	0.465
粗脂肪质量分数	SNV	0.943 9	0.604
淀粉质量分数	SNV	0.933 4	0.673

黄豆各品质实测值与预测值散点图如图 9 所示。为测试装置的稳定性,每个样品重复检测 20 次,以 20 次检测结果的平均偏差衡量装置的稳定性,40 个样品使用上述模型测量 20 次蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数的平均偏差分别为 0.409%、0.623%、0.637%,各参数重复测量 20 次变异系数分别为 1.257%、0.896%、0.964%。结果表明,此装置对测量豆类品质含量具有良好的检测精度和稳定性。

6 网络监控系统开发

为方便豆类收购商了解各地区豆类品质成分含量状况以及及时收购和客户更新模型数据信息,基于 Web 开发中的 B/S 架构,使用 Tomcat 作为 Web 端

服务器,前后端采用基于 Java 语言的若依开源框架,开发了豆类品质网络监控系统,将此系统和 MySQL 数据库部署在阿里云服务器上。

本系统主要由用户角色和管理角色组成,其组成结构如图 10 所示。

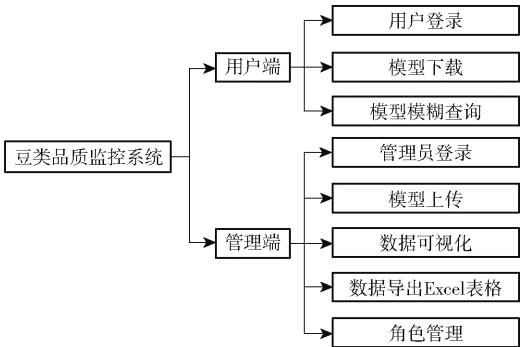


图 10 豆类品质监控系统功能结构框图
Fig. 10 Functional structure diagram of bean quality monitoring system

用户角色主要包括用户登录、装置模型下载、模型模糊查询的功能,如图 11 所示。



图 11 用户角色界面
Fig. 11 User role interface

管理员角色可登录此系统、模型上传、查看各地区豆类主要品质成分含量数据、数据导出至 Excel 表格以及对用户角色进行管理的功能,如图 12 所示。



图 12 管理角色界面
Fig. 12 Management role interface

示。管理员角色还可以给用户设置不同的访问权限,两者之间的界面功能是不相同的。

7 结论

(1)为改善在豆类颗粒品质分析检测过程中受颗粒度、表面不均匀的影响,提高豆类主要品质测定中的准确性及稳定性,本文开发了一种旋转式采集光谱的装置,主要包括控制单元、光源单元、散热单元、显示单元、机械结构单元等。

(2)基于所设计的豆类品质含量无损检测装置,对选取豆类样品重复采集 20 次,在装置旋转采集过程中,随着采集次数的增加,其光谱变异系数平均值逐渐减小直至平稳,黑豆采集 16 次、黄豆 16 次、红豆 14 次、绿豆 8 次以上光谱变化不大。以黄豆为例,对其品质参数建立 PLS 模型,结果表明,蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数预测的模型最优预处理方式分别为 SG - MSC、SNV、SNV,其预测集相关系数 R_p 分别为 0.974 6、0.950 5、0.960 7,均方根误差分别为 0.249%、0.572%、0.623%。

(3)基于 MFC 开发工具,采用 C/C++ 语言编写了豆类检测软件,实现快速检测豆类主要品质含量的“一键式操作”。另外,检测软件可填入被检豆类品种与地区,通过软件中的“检测”按钮自动上传至云端 MySQL 数据库。

(4)取 40 个新黄豆样品对所建立的各品质参数最佳预测模型进行验证,蛋白质、粗脂肪、淀粉质量分数的独立验证相关系数 R_i 分别为 0.941 1、0.943 9、0.933 4,独立验证均方根误差分别为 0.465%、0.604%、0.673%,重复测量 20 次的平均偏差分别为 0.409%、0.623%、0.637%,各参数重复测量 20 次变异系数分别为 1.257%、0.896%、0.964%。

(5)基于若依开发框架,采用 Java 语言编写网络监控系统,管理端可通过此系统监控各地区豆类品质情况;用户端可从系统中下载或更新所需检测的豆类具体品种模型。

参 考 文 献

[1] 刘德明. 一些农作物的“祖籍”[J]. 科技文萃, 1994(9): 112 - 113.
[2] 杨树果. 产业链视角下的中国大豆产业经济研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
YANG Shuguo. Economics of soybean industry in China from industry chain perspective [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
[3] 郭榛, 金诚谦, 刘鹏, 等. 光谱分析和光谱成像技术检测大豆品质的研究进展[J]. 大豆科学, 2022, 41(1): 99 - 106.
GUO Zhen, JIN Chengqian, LIU Peng, et al. Research progress of spectral analysis and spectral imaging technology in soybean quality detection[J]. Soybean Science, 2022, 41(1): 99 - 106. (in Chinese)
[4] 中华人民共和国国家粮食局科学研究院, 全国粮油标准化技术委员会. 中国好粮油杂豆: LS/T 3113—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

- [5] 朱珂郁,曹长林,杨松伟,等. 近红外光谱技术原理及其在废杂塑料识别分选中的应用进展[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2021,37(5):109–116.
ZHU Keyu, CAO Changlin, YANG Songwei, et al. Principle of near infrared spectroscopy and its application in the identification and sorting of waste plastics[J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Sciences Edition), 2021,37(5): 109–116. (in Chinese)
- [6] 闫龙,蒋春志,于向鸿,等. 大豆粗蛋白、粗脂肪含量近红外检测模型建立及可靠性分析[J]. 大豆科学,2008,27(5):833–837.
YAN Long, JIANG Chunzhi, YU Xianghong, et al. Development and reliability of near infrared spectroscopy (NIS) models of protein and oil content in soybean[J]. Soybean Science, 2008,27(5): 833–837. (in Chinese)
- [7] 邹涛. 基于便携式近红外光谱仪快速检测大豆蛋白优化方法的研究[D]. 镇江:江苏大学,2019.
ZOU Tao. Study on optimization method for rapid detection of soybean protein based on portable near infrared spectrometer[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019. (in Chinese)
- [8] 王亚丽,彭彦昆,赵鑫龙,等. 玉米种子活力逐粒无损检测与分级装置研究[J]. 农业机械学报,2020,51(2):350–356.
WANG Yali, PENG Yankun, ZHAO Xinlong, et al. Design and experiment of non-destructive testing and grading device for corn seed vigor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 350–356. (in Chinese)
- [9] 孙红,陈香,孙梓淳,等. 基于透射光谱的玉米叶片含水率快速检测仪研究[J]. 农业机械学报,2018,49(3):173–178.
SUN Hong, CHEN Xiang, SUN Zichun, et al. Rapid detection of moisture content in maize leaves based on transmission spectrum[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 173–178. (in Chinese)
- [10] 刘玲玲,赵博,张银桥,等. 小麦品质近红外检测系统的设计与试验研究[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(1):92–97.
LIU Lingling, ZHAO Bo, ZHANG Yinqiao, et al. Research on development and experiment of NIR wheat quality quick detection system[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(1): 92–97. (in Chinese)
- [11] 孔欣欣,赵国轩,金建猛,等. 不同小麦品种品质性状的近红外光谱分析[J]. 农业科技通讯,2020(6):84–86.
- [12] 刘亚超,李永玉,彭彦昆,等. 便携式大米多品质参数无损检测仪设计与试验[J]. 农业机械学报,2019,50(8):351–357.
LIU Yachao, LI Yongyu, PENG Yankun, et al. Portable rapid nondestructive detecting instrument for multi-quality parameters of rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 351–357. (in Chinese)
- [13] 路辉,彭彬倩,冯晓宇,等. 大米直链淀粉、蛋白质、脂肪、水分含量的近红外光谱检测模型优化[J]. 中国稻米,2020,26(6):55–59,63.
LU Hui, PENG Binqian, FENG Xiaoyu, et al. Model optimization for determination of amylose, protein, fat and moisture content in rice by near-infrared spectroscopy[J]. China Rice, 2020, 26(6): 55–59,63. (in Chinese)
- [14] 郭东升. 基于近红外光谱的大豆粗脂肪含量便携式检测系统研究[D]. 太谷:山西农业大学,2021.
GUO Dongsheng. Research on portable detection system of soybean crude fat content based on near infrared spectroscopy[D]. Taiyu: Shanxi Agricultural University, 2021. (in Chinese)
- [15] 肖莉,张焜毅,张国权,等. 城市流通蔬菜污染监测预警系统的设计和开发[J]. 农业工程学报,2009,25(3):168–173.
XIAO Li, ZHANG Kunyi, ZHANG Guoquan, et al. Design and development of the monitoring and warning system for urban circulating vegetable pollution[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(3): 168–173. (in Chinese)
- [16] 黎贞发,王铁,宫志宏,等. 基于物联网的日光温室低温灾害监测预警技术及应用[J]. 农业工程学报,2013,29(4):229–236.
LI Zhenfa, WANG Tie, GONG Zhihong, et al. Forewarning technology and application for monitoring low temperature disaster in solar greenhouses based on internet of things[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(4): 229–236. (in Chinese)
- [17] WILLIAMS P, NORRIS K, SOBERING D. Determination of protein and moisture in wheat and barley by near-infrared transmission[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1985, 33(2): 239–244.
- [18] 国家食品药品监督管理总局. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.9—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [19] 国家食品药品监督管理总局. 食品中脂肪的测定: GB 5009.9—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [20] 国家食品药品监督管理总局. 食品中淀粉的测定: GB 5009.9—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [21] 赵杰文. 现代食品检测技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2008:357.
- [22] 王文秀,彭彦昆,郑晓春,等. 便携式猪肉营养组分无损实时检测装置研究[J]. 农业机械学报,2017,48(9):303–311.
WANG Wenxiu, PENG Yankun, ZHENG Xiaochun, et al. Portable nondestructive detection device for nutrient components of pork[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(9): 303–311. (in Chinese)
- [23] 彭彦昆,乔鑫,王亚丽,等. 手机联用的苹果糖度便携式检测装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(增刊2):491–498.
PENG Yankun, QIAO Xin, WANG Yali, et al. Design of portable device for testing sugar content of apples combined with mobile phones[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2): 491–498. (in Chinese)
- [24] RINNAN Å, BERG F V D, FENGELSEN S B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2009, 28(10): 1201–1222.
- [25] 彭彦昆. 农畜产品品质安全光学无损快速检测技术[M]. 北京:科学出版社,2016:44–150.