

鲜切果品新鲜度可见/近红外快速检测装置设计与实验

孙红¹ 梁媛媛¹ 田男¹ 吴童¹ 李民赞¹ 唐芳玉²

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 西安交通大学自动化学院, 西安 710049)

摘要: 为了适应日益增长的鲜切果品消费需求,基于光谱分析技术和传感器技术,集成微型光谱仪、质量传感器、照度计和树莓派显示屏等电子元器件,设计了一套鲜切果品新鲜度可见光/近红外快速检测装置。硬件系统包括数据采集模块、光源模块、结果输出显示模块和控制模块,软件实现处理数据、调用分级模型和反馈分级结果等功能。以鲜切苹果为例,采集24个红富士苹果样本在400~820 nm波段的光谱反射率,并在室温下分别于0~2 h、2.5~8 h和8.5~30 h 3个时间段,对每一个待测样品进行4组光谱数据测量,共获取288个原始样本数据。以切开时长2 h为分界线,将苹果样品分为2个等级。利用15点的S-G平滑卷积对反射光谱数据进行平滑处理后,使用核函数为高斯核函数(RBF)的支持向量机建立苹果新鲜度可见/近红外光谱检测分级模型,预测集准确率可达86.81%。该鲜切果品新鲜度可见/近红外快速检测装置可为果品新鲜度或切后存放时长的快速无损检测提供方法与技术支持。

关键词: 鲜切果品; 无损检测; 可见/近红外光谱; 装置

中图分类号: TS255.7; S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0393-06

Design of Freshness Detection Device for Fresh-cut Fruit Using Visible/Near-infrared Spectroscopy

SUN Hong¹ LIANG Yuanyuan¹ TIAN Nan¹ WU Tong¹ LI Minzan¹ TANG Fangyu²

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. School of Automation, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The consumption on the fresh-cut fruit is growing significantly, in order to satisfy the requirement of the consumption with high quality and accuracy quantity, a freshness detection device for fresh-cut fruit was developed using visible/near-infrared spectroscopy. The device was designed based on spectral analysis and sensor technology, which was integrated electronic components, including micro spectrometer, gravity sensor, illuminance meter and raspberry pie display. It was operated with hardware and software system, in which the hardware system included a data acquisition module, a light source module, a result output displays module, and a controller module. The software implements functions such as processing data, invoking a hierarchical model, and feedback grading results. Taking fresh-cut apples as an example, the spectral reflectance of 400~820 nm bands was collected from 24 red Fuji apple samples, which were in the range of 0~2 h, 2.5~8 h and 8.5~30 h, respectively. The samples were measured for four sets of spectral data, and a total of 288 raw sample data were obtained. The apples were divided into two grades in a cut-off time of 2 h. After processing the reflected spectral data onto 15 points of S-G smooth convolution, the kernel function was used as the support vector machine of Gaussian kernel function (RBF) to establish the apple freshness visibility/near infrared spectrum detection hierarchical model. The accuracy of prediction set was 86.81%. The freshness detection device for fresh-cut fruit using visible/near-infrared spectroscopy could provide a technical support for the freshness identification non-destructively and rapidly during the storage after cutting.

Key words: fresh-cut fruit; nondestructive testing; visible/near infrared spectroscopy; device

收稿日期: 2019-04-20 修回日期: 2019-05-28
基金项目: 广西科技重大专项经费(桂科 AA18118037)、国家自然科学基金项目(31501219)、中国农业大学研究生实践教学基地建设项目(ZYXW037)、中国农业大学研究生课程建设项目(HJ2019029、YW2019018)和2018年度国家级创新训练项目(201810019132)
作者简介: 孙红(1980—),女,副教授,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: sunhong@cau.edu.cn
通信作者: 李民赞(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事精细农业研究,E-mail: limz@cau.edu.cn

0 引言

随着人们消费水平的提高,切盒水果的消费量逐年上升^[1],不仅如此,人们越来越注重水果的品质^[2]。在开放环境下,由于呼吸作用、病菌侵害等因素,果品易腐烂变质,对人体产生不良影响^[3-4]。因此,检测果蔬的新鲜程度对保障食品安全具有重要意义。

无损检测是当前食品品质检测研究的热点^[5-8]。光谱学技术因其无损、快速的特点,在果品、蔬菜、肉类^[9-10]、鸡蛋^[11]等食品新鲜度检测中得到了广泛应用。针对果品品质文献^[12-13]采用近红外漫反射技术对苹果进行糖度等可溶性固形物的含量检测,预测集相关性均不小于 0.79;文献^[14-15]利用漫反射近红外光谱分别对鸭梨、李果实外部进行氧化褐变情况检测;文献^[16-17]利用近红外连续透射光谱技术,对苹果内部褐变程度进行检测,样品判别准确率均大于 95%。目前,光谱分析技术在水果品质检测领域应用广泛,但主要针对完整水果表征品质的外观色泽或果品内部所含成分展开,对鲜切果品新鲜度、切后存放时长与氧化褐变关系等方面的研究较少。

本文基于光谱分析技术和传感器技术,设计一套鲜切果品新鲜度可见/近红外快速检测装置。装置包括硬件和软件两部分,其中硬件部分集成微型光谱仪、质量传感器等电子元器件,实现数据的采集;软件部分实现数据采集控制、数据处理与分析功能。并以鲜切苹果为例,建立表征鲜切苹果新鲜程度的切开时长分级模型,将建立的分级数学模型嵌入鲜切果品新鲜度检测装置应用程序中,以期为实现鲜切果品新鲜度等品质指标的快速无损检测提供方法与技术支持。

1 检测装置的集成设计

1.1 检测原理与功能设计

鲜切果品在切开、储存等过程中,易使果品原有的色泽变暗或变为褐色,而颜色较浅的水果,如苹果、香蕉、梨等,酶促褐变反应更易发生或反应更明显^[18]。可见光-近红外光谱范围可以监测颜色变化的过程,表现为果品切开表面随着颜色变深对可见光的吸收能力增强,反射光强减弱。因此,利用光谱仪采集果品切开表面光谱反射率,分析果品氧化褐变可用于指征其新鲜程度。通过采集待测果品质量以及切开表面的漫反射光谱数据曲线,检测待测果品质量并预测待测果品的切开时长等主要品质指标。

1.2 硬件系统设计

基于上述功能目标,设计鲜切果品新鲜度可见光/近红外快速检测装置硬件系统,其整体结构如图 1 所示,由光源模块、数据采集模块、控制器模块和结果输出显示模块组成。其中,光源模块负责提供稳定的照明环境;数据采集模块负责获取鲜切果品的光谱数据和质量数据;控制器使用计算机,主要实现数据采集控制软件运行、数据存储和处理以及调用分级模型功能;结果输出显示模块用于显示数据并反馈检测报告。

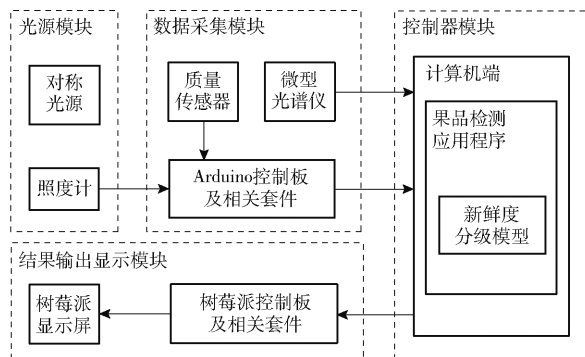


图1 装置整体硬件结构

Fig. 1 Device hardware diagram

封装光源模块、数据采集模块和结果输出显示模块,设计硬件装置外观结构如图 2 所示。其外形尺寸为 350 mm × 350 mm × 300 mm,内部保持密闭并装饰有增强漫反射的黑色植绒布,以减少外界光源环境条件的干扰。装置内分别安装微型光谱仪、光源、树莓派显示屏、树莓派控制电路、照度传感器、Arduino 控制电路、质量传感器。

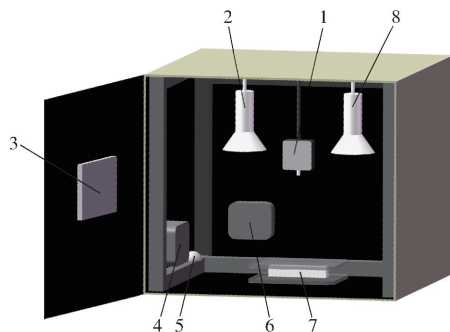


图2 装置外观结构

Fig. 2 Device structure

1. 微型光谱仪 2, 8. 光源 3. 树莓派显示屏 4. 树莓派控制电路
5. 照度传感器 6. Arduino 控制电路 7. 质量传感器

1.2.1 数据采集模块

数据采集模块包括近红外微型光谱仪和高精度质量传感器。使用海洋光学公司 STS-VIS 型微型光谱仪,其体积为 40 mm × 42 mm × 24 mm,质量为 68 g,像素数为 1 024,检测波长范围为 350 ~ 830 nm,光学分辨率为 1.0 nm(使用 10 μm 狭缝),可将获取果

品反射的光谱信息转换为数字信号,通过光学传输光纤连接至控制器模块,具有体积小、质量轻、信噪比高的优点。根据近红外评判水果内部品质指标的信息集中范围为 700 ~ 900 nm^[19-21],该光谱仪覆盖了信息集中区的大部分,满足检测需求。

质量传感器以 Arduino Uno R3 为控制核心,选用 HL-S 型应变式电阻传感器和 HX711 型 A/D 转换器,量程为 3 kg,分辨率为 1 g,通过 USB2.0 接口供电以及与控制器模块进行串口通信。

测量时,光谱仪探头的位置距离装置内部顶部为 150 mm;电子秤上表面平台高度约为 300 mm,确保电子秤上表面平台与光谱仪探头之间有足够的空间放置待测果品。

1.2.2 光源模块

根据一般鲜切果品的盒装容积形状并结合装置的尺寸,为了在保证照明充足、待测鲜切果品受光均匀的条件下,使温度环境不超过光谱仪正常工作温度范围(0 ~ 50℃),在距离微型光谱仪 100 mm 的两侧对称位置固定安装了两个长度 55 mm、最宽直径 23 mm、功率为 10 W 的透明尖泡白炽灯,灯泡顶端距离装置内部顶端 120 mm,发出波长范围 400 ~ 1 050 nm 的连续光谱,可覆盖 STS-VIS 型微型光谱仪的检测波长。

考虑到电压的波动、白炽灯老化等客观条件,装置内部光照环境并非理想恒定,所以需要定时对果品品质检测应用程序的内置光谱白板参数进行校正。因此,采用测量装置内部实时照度的方法,在电子秤两端对称位置分别安置 B-LUX-V30B 型数字光强传感器,其微光精度为 0.054 lx。同样以 Arduino Uno R3 为控制核心,间接得出装置内部光照环境,进而选择照度范围对应的内置白板数据。一旦获取的照度超出实验标定时的正常范围,则应当考虑更新白板数据或更换白炽灯泡等。

1.2.3 结果输出显示模块

以树莓派 3B+ 为控制核心,通过 WiFi 模块与控制器模块进行通信,将果品品质检测报告输出至可触控树莓派显示屏上。显示屏安装固定于装置门上,方便检测过程中随时获取装置的检测情况和检测结果。反馈输出的品质报告包括果品的带盒质量、切开时长/新鲜程度预测等内容。

1.2.4 控制器模块

控制器模块以计算机端为核心,载有自行开发的鲜切果品新鲜度检测装置应用程序,通过 USB 接口、光纤和 WiFi 分别与 Arduino 控制电路、微型光谱仪和树莓派控制电路进行连接。实现样

品质量、光谱数据的处理、保存和显示,光谱仪各项参数设定,调用已建的新鲜度判定分级模型对鲜切果品的切开时长进行预测判定和反馈样品分级结果。

1.3 鲜切果品新鲜度检测装置应用程序开发

设计鲜切果品新鲜度检测装置应用程序系统结构如图 3 所示,分为系统配置、数据采集控制 and 数据处理模块。

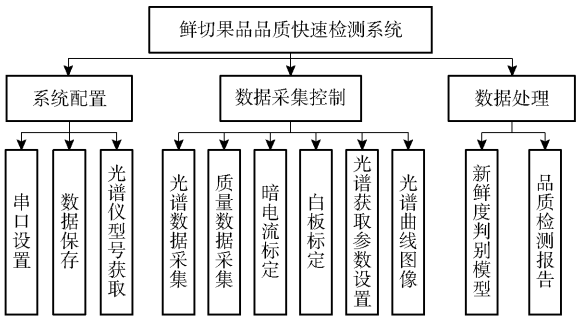


图 3 应用程序系统结构

Fig. 3 Design structure of application system

其中,系统配置模块是鲜切果品品质快速检测系统的基础模块,主要功能包括串口连接与断开和数据保存。数据采集控制模块包括光谱仪采集前的参数配置、暗电流/白板标定以及信息存储、质量和光谱反射率的采集等。数据处理模块是对采集的光谱数据进行分析处理,可根据鲜切果品的光谱反射率生成鲜切果品品质报告。对鲜切果品进行新鲜度分级判别时,在程序中调用已建的数学分级模型,提取在数据采集控制模块中保存的该鲜切果品样品的光谱反射率信息,与分级模型进行比对分析,对鲜切果品样品的新鲜度给出分级判别,最终给出鲜切果品品质报告。

该软件使用 Visual Studio 2017 平台进行开发,用 C++ 语言建立分级模型,用 C# 语言设计 GUI 软件界面并生成了 .exe 应用程序。该程序能够在 Windows 的环境下运行。系统主界面如图 4 所示。

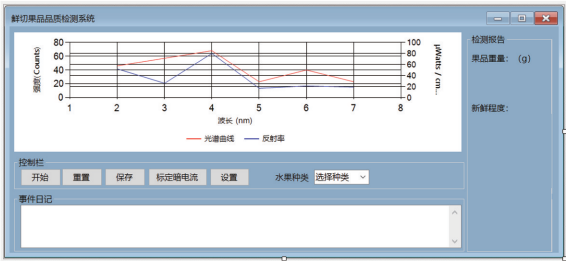


图 4 应用程序系统主界面

Fig. 4 Main interface of application system

使用时,确认光源模块、数据采集模块和结果输出显示模块与控制器模块已经成功连接,接通电源使装置内部电源模块正常工作。将待测鲜切果品放

置于装置内电子秤平台,使对称光源均匀照射果品切开表面。运行应用程序,静待运行结果,果品品质检测报告将显示在装置柜门的树莓派显示屏和应用程序交互界面。

2 苹果新鲜度可见/近红外光谱检测

2.1 实验样品及实验方法

以苹果为例,开展品质检测实验。选用常见的红富士苹果,共 24 个苹果,其中 16 个苹果用于建立模型,8 个苹果用于模型验证。在室温下(15 ~ 20℃)对待测苹果进行洗净,切成厚度约 1 cm 的样品,然后装盒,并于平均温度为 12℃ 的恒温保温箱内贮藏 30 h,并在 0 ~ 2 h、2.5 ~ 8 h 和 8.5 ~ 30 h 3 个时间段中,在室温下分别对每一个待测样品进行 4 组光谱数据的测量,可获取共 288 个样本数据。接通检测装置(图 5),关闭装置门,标定光谱仪暗电流数据。打开电源模块,静待 30 s 保证装置内部光照环境基本稳定,在距离装置内底部约 120 mm 处标定实时白板数据。而后,在电子秤上放置待测样品,并保证待测样品切开表面与标定白板在同样高度处。待测样品的光谱反射率计算公式为

$$T_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100\%$$
 (1)

式中 T_{λ} ——鲜切果品切开表面光谱反射率,%
 S_{λ} ——样品光谱采样强度,cd
 D_{λ} ——暗电流采样强度,cd
 R_{λ} ——标准校正白板采样强度,cd

获取待测果品的光谱曲线的同时,立即对待测果品使用标准方法测定其他品质及环境参数。检测方法:利用搭载好的电子秤-照度 Arduino Uno 集成平台,实时获取待测果品的带盒质量(g)和密闭装置内部环境照度(lx)。其中,实验所用带盖保鲜盒总质量为 12 g。

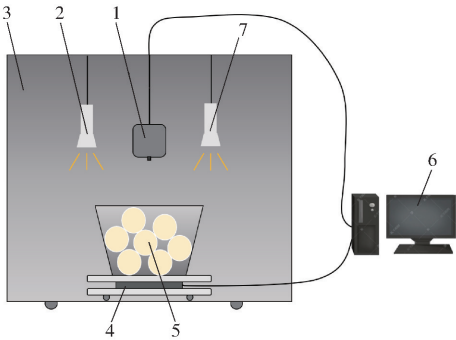


图 5 Schematic of detection

2.2 光谱数据预处理

采集苹果样本表面 350 ~ 830 nm 波长范围反射

率原始数据如图 6a 所示,图中光谱曲线两端数据波动和噪声较大。因此,去除原始光谱两端数据,保留 400 ~ 820 nm 波长范围,并对其开展光谱平滑处理。使用多项式阶次为 3 阶、数据框长度为 15 点的 S - G 平滑卷积(Savitzky - Golay smooth)^[22]对光谱进行降噪平滑处理,结果如图 6b 所示。对比图 6a、6b 可知,经过平滑滤波处理后,对噪声波动有一定程度的抑制。

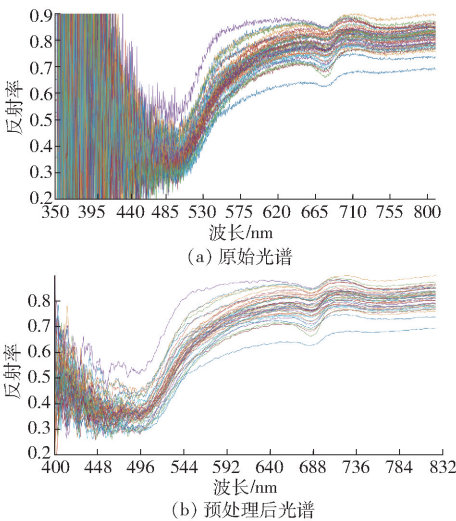


图 6 光谱反射率曲线
Fig. 6 Spectral reflectance curves

2.3 时间变化对果品反射率的影响

选取一组苹果样品,可得不同切制放置时间,其光谱反射率曲线的变化趋势,如图 7 所示。可以看到,由于苹果产生的氧化褐变,果品切开表面的颜色随着切开时长的增加而变深,对可见光的吸收能力增强,近红外光谱反射曲线呈明显的下降趋势。除此之外,样品苹果在 2 h 以内的氧化褐变反应十分迅速,在 2 h 以后的氧化速率明显降低,切开 2 h 前后的样品光谱反射曲线相差较大。因此,以切开时长 2 h 为分界线,将样品苹果分为 2 个等级。

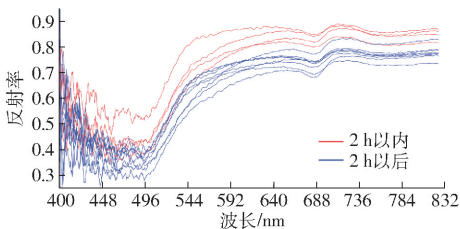


图 7 不同放置时间的光谱反射率曲线
Fig. 7 Spectral reflectance curves with different placement times

2.4 分级模型的建立与验证

选用支持向量机(SVM)判别模型^[23-24]对鲜切果品光谱数据建模分析,从 24 个样本苹果中获取共 288 个样本数据作为原始数据集,以 2:1 的比例建立

建模数据集和验证数据集。对原始数据集进行平滑处理后,剔除异常样本,实际使用的模型建立样本数为 191 个,模型验证样本数为 91 个。分别使用线性 (Linear)、多项式 (Poly)、高斯 (RBF)、S 型函数 (Sigmoid) 以及计算得出的 Gram 矩阵 (Precomputed)5 种不同类型核函数进行建模,结果如表 1 所示。经过对比发现,当使用高斯核函数 (RBF) 进行建模时,准确率最高,可达 86.81%。

表 1 支持向量机判别结果

Tab.1 Support vector machine discrimination results

核函数	预测集个数	预测准确个数	准确率/%
线性	91	71	78.02
多项式	91	77	84.62
Gram 矩阵	91	61	67.03
高斯	91	79	86.81
S 型	91	43	47.25

可将已建立的分级模型嵌入至鲜切果品品质应用程序中,方便程序在判断鲜切果品的新鲜程度时,无需再重新建立模型,直接调用已建立的新鲜度分级模型即可。

3 结论

(1)设计了鲜切果品新鲜度可见光/近红外快速检测装置,该装置由光源模块、数据采集模块、控制器模块和结果输出显示模块组成。硬件系统包括微型光谱仪、质量传感器、照度计和树莓派显示屏等电子器件;软件系统实现样品数据的处理、保存和显示、光谱仪参数设定、调用分级模型对鲜切果品的切开时长进行判定和反馈样品分级结果等功能。

(2)由苹果光谱反射率变化曲线可以发现,果品切开表面的颜色随时间增加而变深,光谱反射率呈明显的下降趋势。同时,切开 2 h 以内的氧化褐变速率明显比 2 h 以后的速率高,2 h 前后的样品光谱反射曲线相差较大。

(3)应用本系统对鲜切苹果进行测试,以切开时长 2 h 为分界线,将苹果样品分为两个新鲜等级。选取 400 ~ 820 nm 波段、利用 15 点的 S - G 平滑卷积对反射光谱数据进行平滑处理后,使用核函数为 RBF 的支持向量机建立苹果新鲜度可见/近红外光谱检测分级模型的,其预测集准确率可达 86.81%。

参 考 文 献

[1] 潘炘,茅林春,阙斐,等. 鲜切果品保鲜技术及其生物学原理研究进展[J]. 农业工程学报,2005,21(6):172 - 175.
PAN Xin, MAO Linchun, QUE Fei, et al. Research advance in preservation technologies and biological principles for fresh cut fruits[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(6):172 - 175. (in Chinese)

[2] 徐文成. 有机食品消费行为研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
XU Wencheng. Study on the consumption behavior of organic food [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017. (in Chinese)

[3] 罗海波,姜丽,余坚勇,等. 鲜切果蔬的品质及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品科学,2010,31(3):307 - 311.
LUO Haibo,JIANG Li,YU Jianyong, et al. Current advances in preservation technology of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Food Science, 2010,31(3):307 - 311. (in Chinese)

[4] 李琪. 鲜切苹果防褐变保鲜技术研究[D]. 天津:天津科技大学,2015.
LI Qi. Study on technology of anti-browning and preservation of fresh-cut apple [D]. Tianjin:Tianjin University of Science & Technology, 2015. (in Chinese)

[5] HU W, SUN D W, BLASCO J. Rapid monitoring 1 - MCP-induced modulation of sugars accumulation in ripening ‘Hayward’ kiwifruit by vis/NIR hyperspectral imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 125:168 - 180.

[6] SHAO L, LIU W, ZHANG X, et al. Fabrication of electronic nose system and exploration on its applications in mango fruit (*M. indica* cv. Datainong) quality rapid determination[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(4):1969 - 1977.

[7] KHURNPOON L, SIRISOMBOON P. Rapid evaluation of the texture properties of melon (*Cucumis melo* L. Var. reticulata cv. Green net) using near infrared spectroscopy[J]. Journal of Texture Studies, 2018,49(4):387 - 394.

[8] 武太鹏,马康. 无损快速检测技术在生鲜食品品质鉴定中的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2017,8(3):729 - 736.
WU Taipeng, MA Kang. Application of non-destructive rapid testing technology in quality identification of flesh food [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017,8(3):729 - 736. (in Chinese)

[9] 王文秀,彭彦昆,孙宏伟,等. 二维相关可见-近红外光谱结合支持向量机评价猪肉新鲜度[J]. 食品科学, 2018, 39(18):273 - 279.
WANG Wenxiu, PENG Yankun, SUN Hongwei, et al. Evaluation of pork freshness using two-dimensional correlation visible/near-infrared spectroscopy combined with support vector machine[J]. Food Science, 2018,39(18):273 - 279. (in Chinese)

[10] 王丽,励建荣. 红外光谱技术在肉品品质鉴别中的应用[J]. 中国食品学报, 2010,9(5):232 - 236.
WANG Li, LI Jianrong. Application of infrared spectroscopy in meat quality identification [J]. Journal of Chinese Institute of

- Food Science and Technology, 2010,9(5):232–236. (in Chinese)
- [11] 杨晓玉,丁佳兴,房盟盟,等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 食品与机械, 2017, 33(11):131–136.
YANG Xiaoyu, DING Jiaying, FANG Mengmeng, et al. Non-destructive determination of eggs freshness by vis/NIR hyperspectral imaging technology[J]. Food & Machinery, 2017,33(11):131–136. (in Chinese)
- [12] SCHMUTZLER M, HUCK C W. Automatic sample rotation for simultaneous determination of geographical origin and quality characteristics of apples based on near infrared spectroscopy (NIRS)[J]. Vibrational Spectroscopy, 2014, 72:97–104.
- [13] 龚志远,李轶凡,刘燕德,等. 基于可见近红外光谱的水果糖酸度分级控制[J]. 仪表技术与传感器, 2015(8):73–75.
GONG Zhiyuan, LI Yifan, LIU Yande, et al. Fruit sugar acidity degree separation control based on visible near infrared spectrum[J]. Instrument Technique and Sensor, 2015(8):73–75. (in Chinese)
- [14] 刘文生,燕晓辉,李明珠. 鸭梨褐变的近红外反射光谱分析[J]. 食品工业科技, 2006(10):178–180,185.
LIU Wensheng, YAN Xiaohui, LI Mingzhu. Near-infrared reflect spectral analysis of brown heart of "YaLi"[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006(10):178–180,185. (in Chinese)
- [15] 赵志磊,王艳伟,贡东军,等. 近红外光谱的李果实褐变鉴别方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(7):2089–2093.
ZHAO Zhilei, WANG Yanwei, GONG Dongjun, et al. Discrimination of plum browning with near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016,36(7):2089–2093. (in Chinese)
- [16] 韩东海,刘新鑫,鲁超,等. 苹果内部褐变的光学无损检测研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6):86–88.
HAN Donghai, LIU Xinxin, LU Chao, et al. Study on optical-nondestructive detection of breakdown apples[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(6):86–88. (in Chinese)
- [17] KHATIWADA B P, SUBEDI P P, HAYES C, et al. Assessment of internal flesh browning in intact apple using visible-short wave near infrared spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 120:103–111.
- [18] 张孔海,孙万慧,段鸿斌. 果蔬食品的褐变与控制[J]. 农产品加工(学刊), 2005(2):40–41.
ZHANG Konghai, SUN Wanhui, DUAN Hongbin. Browning and control of fruit and vegetable[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2005(2):40–41. (in Chinese)
- [19] ZOU Xiaobo, ZHAO Jiewen, MALCOLM J W. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 667(1):14–32.
- [20] ZHU Q, HE C, LU R, et al. Ripeness evaluation of ‘Sun Bright’ tomato using optical absorption and scattering properties[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 103(5):27–34.
- [21] FRASER D G, KUNNEMEYER R, MCGLONE V A, et al. Letter to the editor[J]. Augmentative & Alternative Communication, 2001, 11(4):191–194.
- [22] 王凡,李永玉,彭彦昆,等. 基于漫透射光谱技术的番茄可溶性固形物及总糖含量的无损检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(10):3185–3189.
WANG Fan, LI Yongyu, PENG Yankun, et al. Determination of tomato's SSC and TS based on diffuse transmittance spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(10):3185–3189. (in Chinese)
- [23] 郑立华,李民赞,安晓飞,等. 基于近红外光谱和支持向量机的土壤参数预测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊2):81–87.
ZHENG Lihua, LI Minzan, AN Xiaofei, et al. Forecasting soil parameters based on NIR and SVM[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp. 2):81–87. (in Chinese)
- [24] 林颢,赵杰文,陈全胜,等. 近红外光谱结合一类支持向量机算法检测鸡蛋的新鲜度[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(4):929–932.
LIN Hao, ZHAO Jiewen, CHEN Quansheng, et al. Identification of egg freshness using near infrared spectroscopy and one class support vector machine algorithm[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(4):929–932. (in Chinese)