

# 光学快速分析技术在食品掺假检测中的应用

## Application of detection in food adulteration by using rapid optical analysis technology

王 龙            朱 荣 光            段 宏 伟            许 卫 东

WANG Long    ZHU Rong-guang    DUAN hong-wei    XU Wei-dong

(石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832003)

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**摘要:** 光学快速分析技术作为一种快速无损的检测技术已在食品行业中得到应用。文章综述近红外光谱、拉曼光谱、高光谱成像等光学快速分析技术在食品掺假检测中的应用,包括乳制品掺假、食用油掺假、肉制品掺假和其他食品掺假等方面,同时提出现阶段光学快速分析技术所存在的问题,并简要展望该技术在食品掺假检测领域的前景。

**关键词:** 光学快速分析技术; 食品掺假; 近红外光谱; 拉曼光谱; 高光谱成像

**Abstract:** The rapid optical analysis technology, which is a fast and nondestructive testing technology, has been widely used. This essay summarizes the application of Near infrared spectroscopy, Raman spectroscopy and Hyperspectral imaging techniques in detecting adulterated food, including, but not limited to, dairy products, edible oil and meat. This review also proposes the existing technical problems in the present stage of optical fast analysis methods and looks forward into the future of the technology.

**Keywords:** rapid optical analysis techniques; food adulteration; near infrared spectroscopy; raman spectroscopy; hyperspectral imaging

近年来,食品掺假问题的严重性远远超出人们的想象,最主要的掺假方式有掺兑和混入两种。掺兑主要是在食品中掺入一定数量的外观类似的物质取代原食品成分,一般是指液体食品的掺兑。例如:橄榄油中掺入大豆油、蜂蜜中掺入果葡糖浆、牛乳兑水等。混入则是在固体食品中掺入一定数量外观类似的非同种物质,或虽种类相同但掺入质量低劣

的物质。例如:葛粉中混入红薯粉、羊肉中混入猪肉、糯米粉中混入大米粉等。食品中的掺假物质其物理性状或形态相似,在外观上难以鉴别,对于不同鉴别手段的评价不一。现阶段,中国食品掺假检测方法有感官检验、理化检验和微生物检验等,这些检测方法存在检测效率低、所需时间长、产品破坏大等问题,所以寻找一种快速、有效的食品掺假检测方法意义重大。

光学快速分析技术因具有操作简便、非破坏性、分析效率高特点。目前食品掺假检测中常用的光学快速分析技术主要包括近红外光谱技术、拉曼光谱技术<sup>[1]</sup>和高光谱成像技术<sup>[2]</sup>。近红外光谱技术主要是利用有机物质含氢基团在近红外光谱区(700~2 500 nm)的非谐振性振动产生的倍频与合频吸收这一光学特性来快速估测样本中的物理或者化学特征。拉曼光谱技术利用样品化学键中几种独特的振动模式,甄别基团种类,从而实现对样品的定性定量分析。高光谱成像技术是将光谱分析技术与图像处理技术相融合,可以同时获得被测样品的光谱数据和空间分布信息,从而实现基于多变量的可视化判别。

### 1 在乳制品掺假检测中的应用

随着人们生活水平的日益提高,对乳制品的需求也越来越大,然而由于利益的驱使,乳制品掺假的事件屡见不鲜,利用光学快速分析技术展开对乳制品掺假的快速无损检测也成为了众多学者一个新的研究方向。

Kasemsumran 等<sup>[3]</sup>采集了 1 100~2 500 nm 波长范围内纯牛奶样品和掺还原乳牛奶样品的近红外透射光谱,应用 SIMCA 模式识别法建立的掺假牛奶定标模型预相关系数达到 0.96 以上,实现了牛奶的掺假鉴别。

韩东海等<sup>[4]</sup>采集了浓度梯度为 10%, 20%, 33%, 50%, 66%, 80%, 100% 掺全脂奶粉的假牛奶近红外漫反射光谱,经多元散射校正(MSC)和一阶求导的预处理,利用 SIMCA

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(编号:31460418); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(编号:20136518120004)

**作者简介:** 王龙,男,石河子大学硕士研究生。

**通讯作者:** 朱荣光(1982—),男,石河子大学副教授,博士。

E-mail: rgzh\_jd@shzu.edu.cn

**收稿日期:** 2015-11-03

法建立的掺假牛乳定性判别模型正确判别率达96.7%以上。

郭美兰等<sup>[5]</sup>对掺假牛奶的近红外透射光谱分别采用偏最小二乘差别分析(PLS-DA), Fisher线性判别分析(LDA)和K-最近邻法(KNN)进行分析判别,结果表明,三类分析预测结果的正确率分别达到了90.85%,96.34%,96.34%,证明近红外透射光谱用于掺假牛奶的鉴别是可行的。

荣菡等<sup>[6]</sup>采集鲜牛乳和掺杂植物奶油的牛乳的近红外透射光谱,未进行任何方式预处理,利用偏最小二乘(PLS)马氏距离法建立的掺假判别模型准确率就已达100%。

李亮等<sup>[7]</sup>采集了掺入不同浓度梯度植物蛋白、植物奶油、淀粉的掺假牛奶样品的近红外漫反射光谱,利用Fisher判别分析法建立的定性判别模型的准确率达到97.8%,利用PLS建立的定量模型中各掺假牛奶的校正集和验证集决定系数( $R^2$ )也均在0.99以上。

褚莹等<sup>[8]</sup>采集了掺奶油和还原奶的假羊奶样品近红外漫反射光谱,光谱经预处理和优选波段后,利用主成分分析(PCA)与多层感知器(MLP)神经网络相结合建立的定性判别模型的建模集和预测集正确判别率均达到100%。利用PLS分别建立的两类掺假羊奶定量模型的 $R^2$ 分别为0.98和0.96,交叉验证均方根差(RMSECV)分别为0.379和6.200。

曹佳等<sup>[9]</sup>采用近红外光谱技术,对光谱数据在无散射处理的条件下,使用改进最小二乘法(MPLS)建立羊奶中掺假植物蛋白的定标模型,最终模型的相关系数和交互验证相关系数分别达到0.996,0.999,说明模型的预测效果达到要求,能有效检测出羊奶原奶中掺入植物蛋白的含量,可以用于实际生产。

对于乳制品的掺假鉴别的研究多以近红外光谱分析技术为主,且鉴别准确率达到很高的水平。

## 2 在食用油掺假检测中的应用

有研究<sup>[10]</sup>披露了6种最常见的掺假食物,其中排在首位的就是食用油。20世纪90年代,国外就有学者<sup>[11-14]</sup>利用光学快速分析技术开展食用油的检测研究。近年来,国内许多学者也在该领域展开研究<sup>[15]</sup>。

冯利辉等<sup>[16]</sup>采集了菜籽油含量0~70%的芝麻油掺假样品在4200~10000 $\text{cm}^{-1}$ 范围内的近红外漫反射光谱,经MSC和一阶求导预处理,利用PLS建立定标模型的校正相关系数达0.99,均方估计残差为0.98。

李红莲等<sup>[17]</sup>采集了掺葵花籽油、大豆油、玉米油、棉花籽油的假花生油样品近红外漫反射光谱,对原始光谱先后进行小波变换、特征谱区的选择、一阶求导加矢量归一化、剔除异常样品等处理后,采用PCA对处理后的光谱数据进行聚类分析。最终该方法对花生油的真伪鉴别准确率达到100%,实现了花生油真伪的快速无损鉴别。

章颖强等<sup>[18]</sup>采集了掺入葵花籽油、大豆油、玉米油的橄榄油掺假样品的拉曼光谱,分别采用最小二乘支持向量机(LS-SVM)、人工神经网络(ANNs)和偏最小二乘回归

(PLSR)建立定标模型,分析比较后得出采用LS-SVM建立的模型具有最优的预测效果,其预测模型相关系数达到0.99,均方根误差为0.0074。

吴静珠等<sup>[19]</sup>采集了掺入大豆油、菜籽油、棕榈油和调和油的4类掺假花生油掺假样品的近红外漫反射光谱,通过支持向量机技术(SVM)建立的纯花生油掺伪鉴别模型的识别率和预测率均达到100%。

刘燕德等<sup>[20]</sup>采集了掺入大豆油、玉米油和花生油的芝麻油掺假样品的近红外透射光谱,利用间隔偏最小二乘法(iPLS)建立的3种掺假芝麻油的定标模型预测相关系数均达到0.998以上,预测效果很好。

贡东军等<sup>[21]</sup>采集了橄榄油中掺杂玉米油样品的近红外漫反射光谱,利用PLSR建立模型,经分析得出,玉米油质量分数在0.5%~100%时,最优波段为6270~5440 $\text{cm}^{-1}$ ,最佳因子数为7,模型校正集和验证集的决定系数均能达到0.99,标准偏差为0.126~0.139。

吴广臣等<sup>[22]</sup>采集了掺入不同比例玉米油、棉花籽油的小磨香油样品的近红外漫反射光谱,经二阶求导加矢量归一化的预处理,利用PCA建立的小磨香油掺假鉴别模型的鉴别正确率达100%。

国内学者利用光学快速分析技术对于食用油掺假检测的实验室精度已经达到非常高的水平,下一阶段的方向就是开发相应的检测平台,使实际生产中的精度能达到实验室的水平。

## 3 在肉制品掺假检测中的应用

光学快速分析技术作为一种绿色环保的检测技术,凭借其快速、无损的特点在肉制品掺假检测中有着特有的优势,国内外学者已陆续展开研究。

Cozzolino等<sup>[23]</sup>采集牛肉、羊肉、猪肉和鸡肉样品在400~2500nm处的近红外反射光谱,利用PLS建立不同肉品的鉴别模型,最终模型准确鉴别水平可达80%以上,表明近红外光谱技术能够客观、快速地鉴别不同物种的肉制品。

Alamprese等<sup>[24]</sup>采集了掺入火鸡肉的牛肉掺假样品的紫外、近红外和中红外反射光谱,利用PCA,线性判别分析(LDA)和PLS分别建立掺假鉴别模型。通过比较得出,利用近红外和中红外反射光谱建立的模型可以准确鉴别出掺假样品,而利用紫外反射光谱建立的模型结果并不令人满意,有待进一步的研究和改进。

Mamani-Linares等<sup>[25]</sup>采集了经匀质处理的马肉、驼羊肉、牛肉样品在400~2500nm处肉糜样和肉汁的近红外反射光谱,利用PCA和PLS建立鉴别模型。结果表明,除了3个牛肉糜样、1个驼羊糜样,1个牛肉汁样、1个马肉汁样不能准确识别,剩余样品全部能够识别。

Rohman等<sup>[26]</sup>采集了掺有猪肉成分的牛肉丸样品在1000~1200nm处的近红外反射光谱,以脂肪为研究对象,利用PLS建立的掺假鉴别模型预测集决定系数和均方根误差分别达到0.99和0.442。

Kamruzzaman 等<sup>[27]</sup>采集猪肉和羊肉混合样品的高光谱图像数据,选取光谱 940,1 067,1 144,1 217 nm 处的特征峰作为主成分,建立多元线性回归模型,经高成像光谱技术处理,仅通过图像上的可视化点的分布即可直接确定羊肉样品中是否掺入猪肉。

杨志敏等<sup>[28]</sup>采集了掺水、卡拉胶和氯化钠的掺假猪肉样品的近红外漫反射光谱,结合 Fisher 两类判别法和 MLP 神经网络建立的掺假肉分类识别模型正确识别率达到了 94.2%。

杨红菊等<sup>[29]</sup>在获取注胶肉的近红外透射光谱后,用一阶导数对光谱进行预处理,采用因子化法建立定性判别模型,模型的正确判别率达到 100%。利用近红外透射光谱和判别分析法相结合的方法,实现对注胶肉快速判别分析。

赵红波等<sup>[30]</sup>采集猪肉和牛肉样品的近红外漫反射光谱,通过 MSC、一阶导数和平滑对光谱进行预处理,选取特征波段后,利用 PLS 建立猪肉和牛肉的鉴别分析模型,最终模型的判别正确率高达 100%。

刘晓晔等<sup>[31]</sup>取同一品种的 4 头普通公牛和 6 头淘汰母牛不同部位样品 130 个,将样品均匀绞碎制成肉糜后采集其近红外反射光谱,通过偏最小二乘判别分析(PLS-DA)建立的普通公牛肉和淘汰母牛肉的定性鉴别模型校正集和验证集的鉴别准确率均高达 100%。

对于肉制品掺假的检测定性鉴别的精确度已经达到较高的水平,但对于混合肉制品中各类肉品的定量检测还需要进一步的研究,对于不同建模方法的探究也需要更加深入,以确定一种最佳的建模方法,实现肉制品掺假的准确检测。

## 4 在其他食品掺假检测中的应用

近年来光学快速分析技术在食品掺假检测中的应用越来越广泛,为很多难以鉴别的掺假食品提供了一种行之有效的鉴别方法。

陈全胜等<sup>[32]</sup>采集掺假碧螺春茶样品的近红外漫反射光谱,经标准正态变换(SNV)预处理,通过 PCA 提取 11 个主成分,选用径向基函数(RBF)作为核函数,利用 SVM 建立模型,最终模型的鉴别正确率达到 84.44%。

孙晓荣等<sup>[33]</sup>采集面粉掺假样品在 4 000~12 500  $\text{cm}^{-1}$  范围内的近红外漫反射光谱,对光谱进行预处理后,采用 PLS 建立掺假预测模型,最终校正模型的相关系数达到 0.991,结果表明光谱技术用于快速无损检测面粉掺假是可行的。

陈兰珍等<sup>[34]</sup>提出了一种用傅里叶变换近红外光谱结合判别偏最小二乘法(DPLS)快速鉴别蜂蜜真伪的新方法。采集掺假蜂蜜样品的近红外光谱,进行预处理和最优波段选择后,采用 DPLS 法建立蜂蜜真伪鉴别模型,最佳模型的识别准确率达 100%。结果表明,该方法可作为鉴别商品蜜真伪的一种快速筛选技术。

黄亚伟等<sup>[35]</sup>对西洋参掺伪样品的近红外光谱进行了 MSC 和一阶导数处理然后,利用 PLS 选取了特征波段,采用

PLS-DA,主成分分析判别(PCA-DA)和 SVM 分别建立了 3 种掺伪鉴别模型,对比分析结果表明,SVM 的判别效果最优,其对预测集的正确判别率为 100%,该方法准确便捷可实际应用于企业原料药材的质量控制,实现对原料药材的快速筛查。

张欣等<sup>[36]</sup>采用铁氰化钾滴定法作为光谱还原糖测定的标定方法,用不同光谱预处理方法对模型的影响进行比较,最终在较短时间内快速检测蜂蜜还原糖含量,而且能达到满意的检测精度,模型中建模集样本的识别准确率均在 91% 以上。

李东华等<sup>[37]</sup>采集了掺杂豆浆香精、增稠剂、色素的豆浆样品的近红外透射光谱,利用 PLS 建立的掺假豆浆鉴别模型相关系数均达到 0.91 以上,对掺假豆浆的正确判别率达到 100%。

杨国强等<sup>[38]</sup>采集了酒精度为 53% 的掺假汾阳王酒的近红外透射光谱,经 Savitzky-Golay 卷积平滑预处理,通过 PCA 分别提取 7 个和 11 个主成分因子,利用 BP 神经网络和 LS-SVM 建立的两个鉴别模型的鉴别准确率分别达到 100% 和 84.4%。

李文龙等<sup>[39]</sup>采集了熊胆粉中掺杂猪胆粉样品的近红外漫反射光谱,利用 PLS 建立的判别分析模型准确率为 95%,熊胆粉的定量校正模型预测集决定系数达 0.98。

陈嘉等<sup>[40]</sup>采集了葛粉中掺红薯淀粉和马铃薯淀粉样品的近红外漫反射光谱,利用主成分回归(PCR)和 PLS 建立掺假鉴别的校正模型。经分析对比得出,利用 PLS 建模,光谱预处理方法采用 SNV,光谱区间选择 962~1 389 nm 时,模型预测效果最佳,验证集预测相关系数达 0.99。

高俊峰等<sup>[41]</sup>采集打食用果蜡、工业蜡和未打蜡的苹果样品在 380~1 024 nm 范围内的高光谱图像,经 MSC 预处理,通过连续投影算法进行最优波段选择后,利用 LS-SVM 建立高光谱响应特征与 3 种苹果的关系模型,最终三类苹果鉴别模型的预测准确率分别为 100%,100%,92.9%。

综上所述,近红外光谱技术、拉曼光谱技术、高光谱成像技术等光学快速分析技术具有快速、无损、绿色与环保等特点,在食品掺假的定性和定量鉴别研究上所建立的模型预测效果良好,相关技术必将具有良好的应用前景。

## 5 结束语

光学快速分析技术对于使用不同掺假手段和不同掺假物的掺假食品在检测前需要建立模型,模型的精度和稳定性受光谱预处理方法、波段选择和建模方法等因素的影响,并且预测模型的应用必须与建模前所用的基质相一致,否则不能得到较好预测。在今后的研究中,对于光谱技术与化学计量法的结合、模型转移及信息融合等方面需要进行更加深入的探索;同时需要扩大样品范围,增加模型通用性和覆盖面;开发相应生产线的在线检测设备,提高在线食品掺假检测的准确率也将使光学快速分析技术应用更加广泛。

## 参考文献

- [1] 刘燕德, 施宇, 蔡丽君. 拉曼光谱在重金属分析中的研究进展[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 1-4.
- [2] 刘燕德, 张光伟. 高光谱成像技术在农产品检测中的应用[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 223-226.
- [3] Kasemsumran S, Thanapase W, Kiatsoonthon A. Feasibility of near-infrared spectroscopy to detect and to quantify adulterants in cow milk[J]. Analytical Sciences, 2007, 23(7): 907-910.
- [4] 韩东海, 鲁超, 刘毅, 等. 生鲜乳中还原乳的近红外光谱法鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(3): 466-469.
- [5] 郭美兰, 孙正鹏, 张超, 等. 近红外透反射光谱用于掺假牛奶的快速识别初探[J]. 化学世界, 2010(5): 270-273.
- [6] 荣菡, 刘波平, 邓泽元, 等. 基于PLS-模式识别近红外光谱技术快速检测鲜乳和掺假乳[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 492-495.
- [7] 李亮, 丁武. 掺有植物性填充物牛奶的近红外光谱判别分析[J]. 光谱学光谱分析, 2010, 30(5): 1 238-1 242.
- [8] 褚莹, 丁武, 齐强强. 基于近红外光谱技术实现掺假山羊奶的定性和定量检测[J]. 西北农业学报, 2011, 20(12): 192-196.
- [9] 曹佳, 赵武奇, 魏振东. 掺假羊奶原奶中植物蛋白的近红外快速检测[J]. 农产品加工学刊, 2012(3): 131-133.
- [10] 最常见的6中掺假食物[J]. 求医问药, 2013(1): 54-54.
- [11] Wesley I J, Pacheco F, McGilla E J. Identification of adulterants in olive oils[J]. Jaocs, 1996, 73(4): 515-518.
- [12] Gurdeniz G, Ozen B. Detection of adulteration of extra-virgin olive oil by chemometric analysis of mid-infrared spectral data[J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 519-525.
- [13] Tay A, Singh R K, Krishnan S S, et al. Authentication of olive oil adulterated with vegetable oils using Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Food Sci. and Technol., 2002, 35(1): 99-103.
- [14] Baeten V, Meurens M, Morales M T. Detection of virgin olive oil adulteration by fourier transform Raman spectroscopy[J]. J. Agric. Food Chem., 1996, 44(8): 2 225-2 230.
- [15] 刘燕德, 靳县县. 食用油质量检测研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 235-238.
- [16] 冯利辉, 刘波平, 张国文, 等. 芝麻油中掺入菜籽油的近红外光谱研究[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 296-299.
- [17] 李红莲, 赵志磊, 庞艳萍, 等. 近红外光谱法快速鉴别花生油真伪及掺伪成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 27(1): 24-29.
- [18] 章颖强, 董伟, 张冰, 等. 基于拉曼光谱和最小二乘支持向量机的橄榄油掺伪检测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(6): 1 554-1 558.
- [19] 吴静珠, 刘翠玲, 李慧, 等. 基于近红外光谱的纯花生油掺伪快速鉴别方法研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2011, 29(1): 75-78.
- [20] 刘燕德, 万常斓. 芝麻油掺伪的近红外透射光谱检测技术[J]. 农业机械学报, 2012, 43(7): 136-140.
- [21] 贡东军, 王宇, 董静, 等. 基于近红外光谱的橄榄油中玉米油掺杂量检测[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 57-59.
- [22] 吴广臣, 李红莲, 赵志磊, 等. 近红外光谱技术在快速鉴别真伪小磨香油中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 27(2): 90-93.
- [23] Cozzolino D, Murray I. Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Food Science and Technology, 2004, 37(4): 447-452.
- [24] Alamprese C, Casale M, Sinelli N, et al. Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV-vis, NIR and MIR spectroscopy[J]. Food Science and Technology, 2013, 53(1): 225-232.
- [25] Mamani-Linares L W, Gallo C, Alomar D. Identification of cattle, llama and horse meat by near infrared reflectance or transreflectance spectroscopy[J]. Meat Science, 2012, 90(2): 378-385.
- [26] Rohman A, Sismindari Y, Erwanto Y, et al. Analysis of pork adulteration beef meatball using Fourier transform infrared (FTIR)spectroscopy[J]. Meat Science, 2011, 88(1): 91-95.
- [27] Kamruzzaman M, Sun D W, Elmasry G, et al. Fast detection and xisualization of minced lamb meat adulteration using NIR hyperspectral imaging and multivariate image analysis[J]. Talanta, 2013, 103: 130-136.
- [28] 杨志敏, 丁武. 近红外光谱技术快速鉴别原料肉掺假的可行性研究[J]. 肉类研究, 2011(2): 25-28.
- [29] 杨红菊, 姜艳彬, 候东军, 等. 注胶肉的近红外光谱快速判别分析[J]. 肉类研究, 2008(11): 62-64.
- [30] 赵红波, 谭红, 史会兵, 等. 近红外光谱技术鉴别猪肉和牛肉的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(26): 151-155.
- [31] 刘晓晔, 汤晓艳. 普通公牛肉和淘汰母牛肉的近红外光谱鉴别方法[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 244-248.
- [32] 陈全胜. 基于支持向量机的近红外光谱鉴别茶叶的真伪[J]. 光学学报, 2006, 26(6): 933-937.
- [33] 孙晓荣, 刘翠玲, 吴静珠, 等. 基于近红外光谱无损快速检测面粉品质的研究[J]. 北京工商大学学报, 2011, 29(4): 68-70.
- [34] 陈兰珍, 赵静, 叶志华, 等. 蜂蜜真伪的近红外光谱鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(11): 2 565-2 568.
- [35] 黄亚伟, 王加华, 李晓云. 基于近红外光谱的人参西洋参的快速鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 2 954-2 957.
- [36] 张欣, 单杨, 李水芳, 等. 基于多元散射校正和偏最小二乘(MSC/PLS)的傅里叶变换近红外光谱检测蜂蜜中还原糖[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 109-112.
- [37] 李东华, 潘园园, 张卉. 利用近红外光谱技术检测掺假豆浆[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 238-242.
- [38] 杨国强, 张淑娟, 赵艳茹. 基于近红外透射光谱的汾阳王酒快速鉴别[J]. 农业机械学报, 2013, 44(z1): 189-193.
- [39] 李文龙, 邢丽红, 薛东升. 一种基于近红外光谱技术的熊胆粉鉴别方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(3): 673-676.
- [40] 陈嘉, 刘嘉, 马雅钦. 葛粉掺假的近红外漫反射光谱快速检测[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 133-136.
- [41] 高俊峰, 章海亮, 孔汶汶, 等. 应用高光谱成像技术对打蜡苹果无损鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(7): 1 922-1 926.