

文章编号 2095-1531(2017)06-0752-08

中红外光谱技术对乙醇汽油 乙醇含量的检测

欧阳爱国,张宇,程梦杰,王海阳,刘燕德*
(华东交通大学 光机电技术及应用研究所,江西南昌 330013)

摘要:乙醇汽油是一种新型清洁燃料,燃料乙醇在乙醇汽油中的含量会影响发动机的性能。为了确保发动机的工作可靠性,需要对乙醇汽油中的乙醇含量进行快速精准检测。本文使用中红外光谱技术对采集到的乙醇汽油的光谱数据进行定量分析。首先对原始光谱数据使用多元散射校正、基线校正、一阶导数、二阶导数等预处理方法进行预处理。然后利用 ELM、LSSVM、PLS 对乙醇汽油中的乙醇含量建立预测模型,通过比较 3 种建模方法对乙醇含量的预测能力发现,PLS 方法的精度比其余两种方法更高。模型决定因子 R^2 为 0.958,预测均方误差 RMSEP 为 1.479% (V/V, 体积比)。中红外光谱技术对乙醇汽油乙醇含量的快速准确检测提供了新的思路。

关键词:中红外光谱;乙醇汽油;极限学习机;最小二乘支持向量机;偏最小二乘

中图分类号:O657.33; TE626.9 文献标识码:A doi:10.3788/CO.20171006.0752

Determination of the content of ethanol in ethanol gasoline using mid-infrared spectroscopy

OUYANG Ai-guo, ZHANG Yu, CHENG Meng-jie, WANG Hai-yang, LIU Yan-de*
(*Institute of Optics-Mechanics-Electronics Technology and Application (OMETA),
East China Jiao tong University, Nanchang 330013, China*)
* *Corresponding author, E-mail: jxliuyd@163.com*

Abstract: Ethanol gasoline is a new type of clean fuel, and the content of fuel ethanol in ethanol gasoline affects the performance of the engine. In order to ensure the reliability of engine operation, the ethanol content of ethanol gasoline should be detected quickly and accurately. This paper uses mid-infrared spectroscopy to quantitatively analyze the collected spectral data of ethanol gasoline. First, the original spectral data were pre-processed using multiple scattering correction (MSC), baseline correction, first derivative, second derivative and other pretreatment methods. Then, the predictive model of ethanol content in ethanol gasoline is estab-

收稿日期:2017-06-11;修订日期:2017-08-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61640417);江西省协同创新中心计划项目(赣教高字[2014]60号)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 61640417); Collaborative Innovation Center of Jiangxi Province(No. gjgz[2014]60)

lished using ELM, LSSVM and PLS. By comparing the predictive ability of the three modeling methods, it is found that the accuracy of PLS method is higher than the other two methods. The model determination factor R^2 is 0.958, RMSEP is 1.479% (V/V, volume ratio). The mid-infrared spectroscopy provides a new idea for the rapid and accurate detection of ethanol content of in ethanol gasoline.

Key words: mid infrared spectroscopy (MIRS); ethanol gasoline; extreme learning machine (ELM); least squares support vector machine (LSSVM); partial least squares (PLS)

1 引言

近年来,由于石油资源日益匮乏,人类迫切需要找到一种新型的清洁燃料来替代石化燃料。乙醇是一种由农作物发酵产生的可再生清洁燃料,而乙醇汽油则是在普通汽油中加入适量的燃料乙醇混合而成的。它不仅可以减少汽油燃烧后的二氧化碳排放量还可以提高辛烷值和抗爆性^[1-2]。国标中要求乙醇汽油中的乙醇含量为 9.5% ~ 10.5%,这是因为乙醇燃烧过程中会产生乙酸,其含量过高容易对发动机造成腐蚀^[3]。乙醇含量的多少决定了乙醇汽油的品质而且对发动机的性能也有显著影响。因此,对乙醇汽油中的乙醇含量进行精准快速检测已成为一项热门课题。

目前,常用气相和液相色谱法测定乙醇汽油中的乙醇含量,但是色谱检测方法较为复杂、速度缓慢而且燃料不易被实时监控。而乙醇汽油极易挥发,因此需要一种更快捷精确的检测手段。光谱技术可以克服这些缺点。康健爽^[4]等人利用拉曼光谱技术结合化学计量学方法对乙醇汽油辛烷值进行了预测,实现了对乙醇汽油辛烷值变化的实时监测。Corsetti^[5]等人采用红外和超额红外光谱技术对乙醇跟汽油的替代物,正庚烷和异辛烷混合物,的分子交互和微观混合效果进行了研究,发现红外光谱有助于在分子水平上理解混合物的化学组分。

目前国内使用中红外光谱技术检测乙醇汽油中乙醇含量的报道还较少。目前研究较多的是中红外光谱技术,其可以用于许多化合物的检测,而

且操作便捷、检测速度快。陈彬^[6]等人利用中红外光谱技术对微含水绝缘油中的水分含量进行了检测,建立了多元线性回归模型,结果表明水分含量与水分特征峰吸光度之间有良好的相关性; Sen^[7]等人使用中红外光谱技术对葡萄酒中的花青素、甘油以及酚类化合物的含量进行了检测,同时结合偏最小二乘回归 (OPLS) 建立了预测模型,实现了对葡萄酒中化合物的在线快速测定。传统的中红外光谱技术是通过特定的峰高或者峰强进行定量分析的,然而峰高或峰强易受样品状态、检测环境等因素的影响,容易导致测量结果不精确。而偏最小二乘法 (PLS) 是多变量技术,可以有效消除这些影响。由此可知,将中红外光谱与 PLS 算法相结合测量结果更佳。本文利用中红外光谱技术结合偏最小二乘法 (PLS) 建立了乙醇汽油中乙醇含量的模型,实现了乙醇汽油乙醇含量的快速精准的检测。

2 材料与方法

2.1 实验样品

乙醇汽油样品是普通汽油与无水乙醇在理化实验室环境下配制而成的。实验使用的乙醇采用实验用无水乙醇(分析纯度 >99.7%),普通汽油是从某加油站购买的 93# 成品汽油。实验过程中,室温控制在 20 °C 左右,采用滴定的方法配置乙醇汽油样品(乙醇与汽油并未分层),依次配制乙醇含量为 0.8% ~ 25% 的 30 组乙醇汽油溶液,每个浓度制备 4 份样品,共 120 份乙醇汽油样品。如表 1 所示。

表 1 30 组乙醇汽油样品浓度

Tab. 1 Concentrations of 30 groups of ethanol gasoline samples

(% , V/V)

样品序号	浓度	样品序号	浓度	样品序号	浓度
1	0.8	11	9.0	21	17.4
2	1.6	12	10.0	22	18.2
3	2.4	13	10.8	23	19.0
4	3.2	14	11.6	24	20.0
5	4.0	15	12.4	25	20.8
6	5.0	16	13.2	26	21.6
7	5.8	17	14.0	27	22.4
8	6.6	18	15.0	28	23.2
9	7.4	19	15.8	29	24.0
10	8.2	20	16.6	30	25.0

2.2 光谱采集与数据分析

实验使用的 WQF-510A 傅里叶变换红外光谱仪是由北分瑞利分析仪器公司生产的,该光谱仪测量波数范围为 $350 \sim 7\,800 \text{ cm}^{-1}$,分辨率优于 0.85 cm^{-1} ,采用水平 ATR 附件技术进行测量;采用实验室专用除湿机除湿。采集光谱时,将室温控制在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度控制在 70% 以下,开机,并将扫描时间设定为 32 s;预热 20 min 后开始采集光谱,在与光谱仪连接的 PC 上使用 MainTOS 光谱采集软件采集样品的透过率光谱,对每个浓度的 4 份样品各测 4 条光谱,取平均,将 120 个样品作为采样光谱进行数据处理;最后,将光谱数据通过图谱软件转换为文本格式,使用 Unscrambler v8.0 对光谱进行预处理,Matlab R2014a 对数据进行建模分析。

3 结果与分析

3.1 乙醇汽油中红外光谱图

乙醇汽油的中红外光谱图如图 1 所示。图 1 显示,在 $1\,300 \sim 1\,650 \text{ cm}^{-1}$ 、 $2\,800 \sim 3\,100 \text{ cm}^{-1}$ 波数范围内有较好的吸收峰。在 $1\,380$ 、 $1\,420$ 、 $1\,650$ 、 $2\,950 \text{ cm}^{-1}$ 处特征峰明显。这是由于乙醇中的亚甲基 CH_2 的伸缩振动出现在 $1\,380 \text{ cm}^{-1}$ 附近,羟基 O-H 面内弯曲振动会出现在 $1\,600 \text{ cm}^{-1}$ 附近,在 $2\,960 \text{ cm}^{-1}$ 附近会出现甲基 CH_3 的伸缩振动^[8-10]。在 $1\,300 \sim 1\,650 \text{ cm}^{-1}$ 、 $2\,800 \sim$

$3\,100 \text{ cm}^{-1}$ 波数范围内乙醇含量的线性相关性较明显,而在 $1\,750 \sim 2\,000 \text{ cm}^{-1}$ 范围内由于受汽油中其他烃类物质的干扰导致光谱线性关系较差。

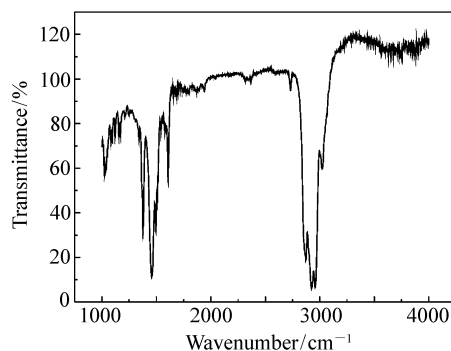


图 1 乙醇汽油原始光谱图

Fig. 1 Mid-infrared spectra of ethanol gasoline

3.2 光谱预处理

实验过程中为了减少外界因素的影响,本文使用多元散射校正(MSC)、基线校正(Baseline)、一阶导数(1st derivatives)、二阶导数(2nd derivatives)等方法对乙醇汽油原始光谱进行预处理。

3.3 样品划分

合理划分样品集对于提高识别精度有重要作用。本文使用 Kennard-Stone(KS)算法将 120 份乙醇汽油样品按照 3:1 的比例进行划分,用于样本建模预测,其中 90 个样品用于建模,30 个样品用来预测。

3.4 模型的建立

对乙醇汽油的原始光谱与预处理后的光谱分别使用极限学习机(Extreme Learning Machine, ELM)、最小二乘支持向量机(LSSVM)、偏最小二乘法(PLS)等3种建模方法进行乙醇含量的预测,并且进行了对比分析。

3.4.1 ELM

极限学习机(ELM)是一种求解单隐层神经网络的算法,具有良好的泛化性,较快的计算速度。该算法已经成为多层次分类以及定量分析的

一项重要技术手段^[11-12]。在ELM算法中输入与隐含层间的连接权重,可以随机产生隐含层神经元的阈值,训练过程中只需设置优化隐含层神经元激活函数和隐含层神经元个数即可。若隐含层神经元个数 i 初始值设置为5,一直增加到90(建模集样品数目),步长为1,分别选用“sig”、“sin”、“hardlim”作为隐含层神经元激活函数进行对比,利用循环语句确定最优隐含层神经元个数 i_b (RMSEP取得最小值时对应的隐含层神经元个数),得到的预测结果如表2所示。

表2 ELM建立的乙醇汽油中乙醇含量的模型结果

Tab.2 Prediction results of ethanol content in ethanol gasoline by ELM method

预处理方法	sin			sig			hardlim		
	i_b	RMSEP/% (V/V)	R^2	i_b	RMSEP/% (V/V)	R^2	i_b	RMSEP/% (V/V)	R^2
Original spectral	23	1.657	0.817	78	1.621	0.812	69	1.573	0.919
MSC	30	1.681	0.801	71	1.658	0.791	67	1.623	0.903
Baseline	24	1.630	0.862	64	1.608	0.869	47	1.631	0.896
1 st derivatives	20	1.696	0.769	18	1.725	0.766	20	1.698	0.850
2 nd derivatives	15	1.758	0.690	28	1.779	0.682	24	1.725	0.798

由表2可知,当“sin”作为神经元激活函数时,使用基线校正(Baseline)对光谱进行预处理且隐含层神经元个数为24时,ELM建模效果较好,此时,模型决定因子数为0.862,均方根误差为1.630%;当“sig”作为神经元激活函数时,使用基线校正(Baseline)对光谱数据进行预处理且隐含层神经元个数为64时,建模效果较好,此时,模型决定因子为0.869,均方根误差为1.608%;当选择“hardlim”作为激活函数时,使用原始光谱数据,当隐含层神经元个数为69时建模效果最好,此时模型决定因子为0.919,均方根误差为1.573%。通过对ELM算法中3种隐含层神经元激活函数的对比可以看出,使用“hardlim”作为激活函数时建立的模型整体效果最优,验证结果如图2所示。

3.4.2 LSSVM

最小二乘支持向量机是对支持向量机(SVM)的一种改进。它可以进行线性以及非线性的多元校正,能够降低计算的复杂程度,提高回

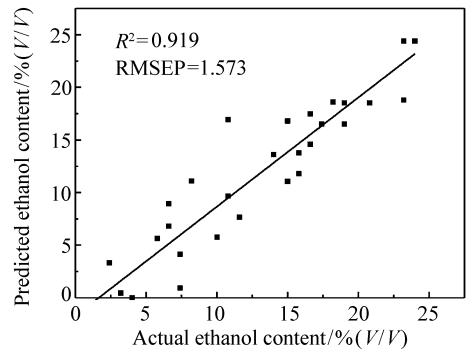


图2 ELM对乙醇含量预测的散点图

Fig.2 Scatter plots of prediction results of ethanol content by ELM

归精度和建模效率,从而加快处理问题的速度^[13]。对于LSSVM模型的建立,本文分别使用径向基函数RBF和lin函数作为核函数。在采用LSSVM进行建模时需要确定两个重要参数—正则化参数 γ 和核参数 δ^2 ,这两个参数会直接影响模型的预测能力。对应的模型结果如表3所示。

表 3 LSSVM 建立的乙醇汽油中乙醇含量模型的预测结果

Tab. 3 Prediction results of ethanol content in ethanol gasoline by LSSVM model

预处理方法	Lin-kernel			RBF-kernel		
	γ	RMSEP/% (V/V)	R^2	γ, σ^2	RMSEP/% (V/V)	R^2
Original spectra	0.408	3.388	0.931	568 910, 148.13	2.332	0.945
MSC	0.011	3.725	0.891	42.358, 731.80	3.010	0.929
Baseline	0.124	3.620	0.928	16.416, 492.81	3.112	0.902
1 st derivatives	1.875×10^9	3.271	0.893	1 267 600, 182 430	3.271	0.894
2 nd derivatives	3.63×10^9	3.386	0.890	952 810, 560 680	3.386	0.891

由表 3 可知,对于使用 lin 核函数建立的乙醇汽油乙醇含量的 LSSVM 模型,使用未经过预处理的原始光谱建立的模型效果更佳,对应的正则化参数 $\gamma = 0.408$,预测集的相关系数为 0.931,均方根误差为 3.388%;对于 RBF 核函数建立的模型,同样使用未经预处理的原始光谱建立的模型结果较好,对应的两个参数 $\gamma = 568\ 910, \delta^2 = 148.13$,

预测集的相关系数达到了 0.945,均方根误差为 2.332%。比较两种核函数的建模效果可以发现,选择 RBF 作为核函数时,模型的整体效果较好。图 3 为选用 RBF 核函数和原始光谱数据所建立模型的预测散点图。

3.4.3 PLS

偏最小二乘是光谱分析中最常用的建模方法,其是一种多因变量对多自变量的线性回归建模方法,广泛应用于油品、添加剂、食品及农产品等领域^[14-15]。将经过不同预处理的光谱数据作为模型的输入值,将乙醇汽油的乙醇含量作为模型的预测值建立了乙醇汽油乙醇含量的 PLS^[16-18]模型,建模结果如表 4 所示。由表 4 可知,使用基线校正(Baseline)对光谱预处理后建立的乙醇汽油乙醇含量的 PLS 模型效果最好,模型的均方根误差随着主成分因子变化曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出当主因子数为 7 时,预测集与建模集的均方根误差最接近,此时模型的决定因子 R^2 为 0.958,均方根误差为 1.479%。模型的散点图如图 5 所示。

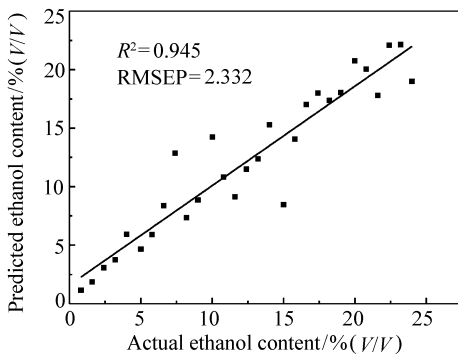


图 3 LSSVM 预测乙醇含量的散点图

Fig. 3 Scatter plots of prediction results of ethanol content by LSSVM

表 4 PLS 建立的乙醇汽油乙醇含量的模型结果

Tab. 4 Prediction results of ethanol content in ethanol gasoline by PLS model

预处理方法	因子数	校正集		预测集	
		相关系数	均方根误差/% (V/V)	相关系数	均方根误差/% (V/V)
Original spectra	7	0.940	1.731	0.900	2.290
MSC	11	0.956	1.433	0.913	1.941
Baseline	7	0.963	1.417	0.958	1.479
1 st derivatives	4	0.959	1.457	0.938	1.719
2 nd derivatives	3	0.961	1.301	0.897	2.245

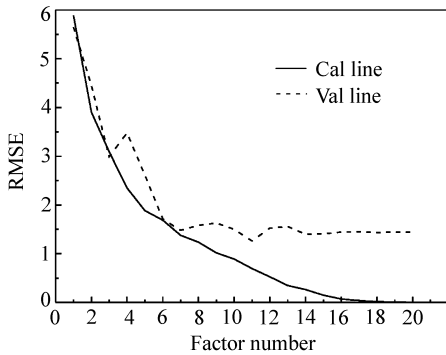


图4 均方根误差随着主成分因子变化

Fig. 4 RMSE varies with principal component factor

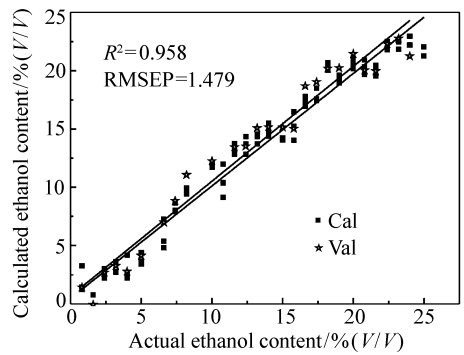


图5 PLS 预测乙醇含量的散点图

Fig. 5 Scatter plots of prediction results of ethanol content by PLS

3.4.4 模型的比较分析

从以上4种方法建立的乙醇汽油乙醇含量的模型中分别挑选出效果最好的结果显示于表5中。由表5可知,光谱不经过预处理直接使用ELM或LSSVM建立的乙醇汽油乙醇含量的模型效果较好,使用基线校正(Baseline)对光谱进行预处理后建立的乙醇汽油乙醇含量的PLS模型效果最优,通过参考表2、表3、表4发现,对光谱进

行相同预处理的情况下(MSC、Baseline、1st derivatives、2nd derivatives)ELM建立的模型相关系数很低,LSSVM建立模型的均方根误差较高,而PLS建立模型则很好地兼顾了两者,模型决定因子较高并且均方根误差小,模型的拟合效果较好。PLS对于乙醇含量的检测效果很好,这说明乙醇汽油中含有很多线性信息,乙醇汽油是一种线性的检测目标。

表5 3种模型对比结果

Tab. 5 Comparison results of three kinds of models

预处理方法	建模方法	参数	R^2	RMSEP/%(V/V)
Original spectral	ELM	hardlim, $i_b = 69$	0.919	1.573
Original spectral	LSSVM	RBF, $\gamma = 5.69 \times 10^5$, $\sigma^2 = 148.13$	0.945	2.332
Baseline	PLS	$P_c = 7$	0.958	1.479

4 结论

本文采用中红外光谱技术结合ELM、LSSVM、PLS3种算法对乙醇汽油中的乙醇含量进行快速预测,首先使用傅里叶变换红外光谱仪测得配制好样品的光谱图,然后将光谱数据进行预处理后分别采用ELM、LSSVM、PLS3种方法建立模型。通过对比3种方法建立的模型发现,原

始光谱数据经过基线校正(Baseline)预处理后使用PLS建立的模型效果最优,相关系数 R^2 接近0.96,均方根误差RMSEP为1.479%。这说明乙醇是一种线性的检测目标。结果表明,对于乙醇汽油中乙醇含量的检测,使用中红外光谱技术结合PLS是一种快速准确便捷的途径。这为中红外光谱技术结合一些多变量建模方法来预测乙醇汽油中其他组分的含量提供了思路。

参考文献:

[1] 苏会波,林海龙,李凡,等.乙醇汽油对减少机动车污染排放的机理研究与分析[J].环境工程学报,2015,9(2):823-

829.

- SU H B, LIN H L, LI F, *et al.*. Mechanism study and analysis on emission reduction of pollutants with ethanol gasoline [J]. *Chinese J. Environment Engineering*, 2015, 9(2): 823-829. (in Chinese)
- [2] 冯亦立. 乙醇汽油与普通汽油的环保性比较[J]. *环境科技*, 2009, 22(S1): 124-127.
- FENG Y L. The environment characters compared between alcohols petrol and petrol [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, 22(S1): 124-127. (in Chinese)
- [3] 郭瑞莲, 鲍晓峰, 岳欣, 等. 车用乙醇汽油对发动机进气系统沉积物的影响[J]. *汽车工程*, 2007, 29(8): 642-644 + 691.
- GUO R L, BAO X F, YUE X, *et al.*. The influence of ethanol gasoline on deposit formation in intake system of the engine [J]. *Automotive Engineering*, 2007, 29(8): 642-644 + 691. (in Chinese)
- [4] 康建爽, 张璐妮, 蒋书波, 等. 基于拉曼分析技术乙醇汽油辛烷值快速测定研究[J]. *化工自动化及仪表*, 2010, 37(3): 52-54.
- KANG J SH, ZHANG L N, JIANG SH B, *et al.*. Rapid determination of octane number about ethanol gasoline based on Raman analysis technique [J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 2010, 37(3): 52-54. (in Chinese)
- [5] CORSETTI S, ZEHENTBAUER F M, MCGLOIN D, *et al.*. Characterization of gasoline/ethanol blends by infrared and excess infrared spectroscopy [J]. *Fuel*, 2014, 141: 136-142.
- [6] 陈彬, 武宏阳, 张贤明, 等. 含微水绝缘油表面张力的中红外光谱检测[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(9): 2452-2458.
- CHEN B, WU H Y, ZHANG X M, *et al.*. Detection on interfacial tension of insulating oil with trace water based on mid-infrared spectroscopy [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(9): 2452-2458. (in Chinese)
- [7] SEN I, OZTURK B, TOKATLI F, *et al.*. Combination of visible and mid-infrared spectra for the prediction of chemical parameters of wines [J]. *Talanta*, 2016, 161: 130-137.
- [8] HU N P, WU D, CROSS K J, *et al.*. Structural basis of the H-1-nuclear magnetic resonance spectra of ethanol-water solutions based on multivariate curve resolution analysis of mid-infrared spectra [J]. *Applied Spectroscopy*, 2010, 64(3): 337-342.
- [9] GUIMARAES E, GONTIJO L C, MITSUTAKE H, *et al.*. Quantification of ethanol in biodiesels using mid-infrared spectroscopy and multivariate calibration [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 53(35): 13575-13580.
- [10] ZHOU S, HAN Y L, LI B C. Simultaneous detection of ethanol, ether and acetone by mid-infrared cavity ring-down spectroscopy at 3.8 μm [J]. *Applied Physics B*, 2016, 122(7): 187.
- [11] ZHENG W B, FU X P, YING Y B. Spectroscopy-based food classification with extreme learning machine [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2014, 139: 42-47.
- [12] YANG L M, ZHANG S Y. A sparse extreme learning machine framework by continuous optimization algorithms and its application in pattern recognition [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2016, 53: 176-189.
- [13] LI S, DAI L K. Classification of gasoline brand and origin by Raman spectroscopy and a novel R-weighted LSSVM algorithm [J]. *Fuel*, 2012, 96(7): 146-152.
- [14] 冯愈钦, 吴龙国, 何建国, 等. 基于高光谱成像技术的长枣不同保藏温度的可溶性固形物含量检测方法[J]. *发光学报*, 2016, 37(8): 1014-1022.
- FENG Y Q, WU L G, HE J G, *et al.*. Detection method of soluble solid of jujube at different preservative temperature based on hyper-spectral imaging technology [J]. *Chinese J. Luminescence*, 2016, 37(8): 1014-1022. (in Chinese)
- [15] 刘燕德, 靳昱昊, 王海阳. 基于拉曼光谱的三组分食用调和油快速定量检测[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(9): 2490-2496.
- LIU Y D, JIN T T, WANG H Y, *et al.*. Rapid quantitative determination of components in ternary blended edible oil based on Raman spectroscopy [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(9): 2490-2496. (in Chinese)
- [16] 洪茜, 刘木华, 袁海超, 等. 基于表面增强拉曼光谱的鸭肉中螺旋霉素残留检测[J]. *发光学报*, 2015, 36(12): 1464-1468.

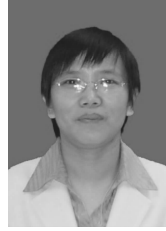
HONG Q, LIU M H, YUAN H CH, *et al.*. Detection of spiramycin residue in duck meat based on SERS[J]. *Chinese J. Luminescence*, 2015, 36(12):1464-1468. (in Chinese)

- [17] 陈云坪, 马伟, 王秀, 等. 基于 PLS 的土壤养分与小麦产量空间相关关系研究[J]. *农业机械学报*, 2012, 2:159-164.
CHEN Y P, MA W, WANG X, *et al.*. Study on the correlation between yield and soil nutrients PLS space wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2012, 2:159-164. (in Chinese)
- [18] BITTANTE G, CECCHINATO A. Genetic analysis of the Fourier-transform infrared spectra of bovine milk with emphasis on individual wavelengths related to specific chemical bonds[J]. *J. Dairy Science*, 2013, 96(9):5991

作者简介:



欧阳爱国(1968—),男,江西南昌人,学士,教授,主要从事车辆性能检测方面的研究。E-mail:ouyangaiquo1968711@163.com



刘燕德(1967—)女,江西泰和人,博士,教授,博士生导师,主要从事农产品监测方面的研究。E-mail:jxliuyd@163.com

《光学 精密工程》(月刊)

- 中国光学开拓者之一王大珩院士亲自创办的新中国历史最悠久的光学期刊
- 现任主编为国家级有突出贡献的青年科学家曹健林博士
- Benjamin J Eggleton, John Love 等国际著名光学专家为本刊国际编委

《光学 精密工程》主要栏目有现代应用光学(空间光学、纤维光学、信息光学、薄膜光学、光电技术及器件、光学工艺及设备、光电跟踪与测量、激光技术及设备);微纳技术与精密机械(纳米光学、精密机械);信息科学(图像处理、计算机应用与软件工程)等。

- * 美国工程索引 EI 核心期刊
- * 中国出版政府奖期刊提名奖
- * 中国精品科技期刊
- * 中文核心期刊
- * 百种中国杰出学术期刊
- * 中国最具国际影响力学术期刊

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

中国仪器仪表学会

地址:长春市东南湖大路 3888 号

电话:0431-86176855

电邮:gxjmgc@sina.com

定价:100.00 元/册

邮编:130033

传真:0431-84613409

网址: <http://www.eope.net>