

# 激光诱导击穿光谱技术对烟草快速分类研究

李昂泽<sup>1</sup>, 王宪双<sup>1</sup>, 徐向君<sup>1</sup>, 何雅格<sup>1</sup>, 郭帅<sup>1</sup>, 柳宇飞<sup>2</sup>, 郭伟<sup>1</sup>, 刘瑞斌<sup>1\*</sup>

(1. 北京理工大学物理学院, 北京 100081;

2. 宝瑞激光科技(常州)有限公司, 江苏常州 213000)

**摘要:**不同类型的烟草在元素种类和元素含量上存在一定的差异, 本文基于激光诱导击穿光谱(LIBS)技术, 采集了不同种类烟草的原子发射光谱, 并结合支持向量机方法, 实现了烟草的快速分类鉴别。文章选取了市面上9种不同品牌的香烟, 提取了其烟丝LIBS谱线的全部特征峰, 通过对全谱进行窗口平滑去背景和峰位漂移的修正等预处理, 再进行主成分分析降维, 结合支持向量机方法(SVM), 建立了分类模型, 给出了9种品牌香烟烟草的分类结果, 平均准确度达到97.47%。实验结果表明:激光诱导击穿光谱技术在烟草防伪鉴定和现场快速识别分类等方面具有巨大的应用潜力。

**关键词:**激光诱导击穿光谱; 主成分分析; 支持向量机; 烟草; 分类识别

**中图分类号:** O433.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/CO.20191205.1139

## Fast classification of tobacco based on laser-induced breakdown spectroscopy

LI Ang-ze<sup>1</sup>, WANG Xian-shuang<sup>1</sup>, XU Xiang-jun<sup>1</sup>, HE Ya-ge<sup>1</sup>,

GUO Shuai<sup>1</sup>, LIU Yu-fei<sup>2</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, LIU Rui-bin<sup>1\*</sup>

(1. School of Physics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Bao Rui Laser Technology Co., Ltd, Changzhou 213000, China)

\* Corresponding author, E-mail: liurubin8@gmail.com

**Abstract:** Different types of tobacco differ in element type and content. Based on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), the atomic spectra were collected to realize fast classification and identification of different tobacco species combined with a support vector machine. In this paper, 9 kinds of cigarettes of different brands were selected and all characteristic peaks of spectral lines were extracted separately. Before classification, all feature peaks need to be preprocessed through multiple methods, including window smoothing to remove background and peak shift correction. After this, principal component analysis was used to reduce the dimension and the support vector machine method (SVM) was used to establish the classification model. Finally, classification results of 9 brands of cigarettes were obtained, with an average accuracy of 97.47%. It was proven that LIBS has great potential for applications in tobacco rapid identification, anti-counterfeiting identifi-

收稿日期: 2018-10-29; 修订日期: 2018-12-13

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61574017); 北京理工大学火炸药全链条创新专项 (No. 2017CX10007)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61574017); Beijing Institute of Technology Whole Chain of Explosives Innovation Project (No. 2017CX10007)

cation and on-site rapid classification.

**Key words:** laser induced breakdown spectroscopy; principal component analysis; support vector machine; tobacco; classification and recognition

## 1 引言

我国有近3.15亿烟民,香烟的市场巨大,如何提高烟草品质控制是各大烟草公司关注的问题。特别是对一些名贵香烟,市场中充斥着大量的假烟,因缺少快速简便的鉴定方法,不法商家以次充好,欺骗消费者的行为层出不穷。因此有必要研究出一种快速、精确、可靠的香烟种类识别方法。

国内外研究人员对烟草的品质鉴定及管控已展开较多研究,在烟草品质评价和分级上也取得较大的进展。如南华大学的邓晨曦<sup>[1]</sup>等人通过分析烟草化学成分,利用萤火虫群优化模糊聚类的烟草品质集成分类方法,使烟草品质分类精度上有了较大的提高,并且随着烟草样本数量的增加,分类精度也相应得到提升;北京工业大学的张媛媛<sup>[2]</sup>等人使用颜色向量表示不同品牌的香烟图像,提取网格图像的颜色空间中的色调直方图标准差作为特征值,构成颜色特征向量,再通过欧氏距离来划分最优的网格数量,组成香烟图像特征向量集合,基于朴素贝叶斯分类器与高斯混合模型分类器进行分类,分类的准确率分别为69%和91%;沈阳农业大学的吴琼<sup>[3]</sup>等人利用高光谱成像技术,采集了7种香烟的光谱图像,通过对香烟烟丝进行对比分析,很直观地辨别了7种香烟的烟丝色泽和分布信息状况的变化,进而发现这7种香烟烟丝的差异。

以上研究表明香烟的识别具有一定可行性。激光诱导击穿光谱(Laser-Induced Break down Spectroscopy, LIBS)与分类算法相结合的方法也是一种灵敏准确的分析方法。目前,鲜有人使用该方法进行香烟的分类。

LIBS 由于具有检测速度快、无需样品处理、对样品损伤小等特点,近年来已经越来越多地应用到水体污染<sup>[4-6]</sup>、土壤分析<sup>[7]</sup>、工业评估<sup>[8]</sup>、食品安全<sup>[9-10]</sup>、环境检测<sup>[11]</sup>、考古学<sup>[12]</sup>、医药分

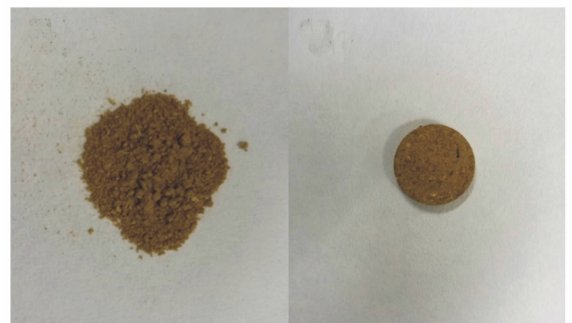
析<sup>[13]</sup>等物质检测领域。目前利用 LIBS 检测技术快速评价产品质量和快速分类待测样品已经成为 LIBS 领域实际应用的热点。

本文相较于其他分类工作拥有以下几个创新点:烟草的快速实时分类,特别是对原始烟叶的快速检测是优化烟丝质量的重要手段,但一直没有适当的高准确度的方法,本文尝试采用 LIBS 结合 SVM 的方法,对烟草样品的分类效果证实了 LIBS 在未来烟草市场应用的可行性;光谱数据处理方面,对特征峰峰位的漂移进行了修正;基于 LIBS 光谱,对市面上九种香烟按照产地、品牌、焦油含量以及尼古丁含量的不同分别建立分类模型,并获得了准确率较高的判别模型,对香烟的快速识别和准确分类提供了一个较好的方法。

## 2 实验过程

### 2.1 实验样品

本实验所用香烟有 Esse、红梅(HM)、大前门(DQM)、金满堂(JMT)、云烟(YY)、中南海(ZNH)、黄鹤楼(HHL)、芙蓉王(FRW)、中华(ZH)等9种市场上典型的香烟,其产地、价位、品质等方面各不相同。每个品牌的香烟选取两支香烟,将其烟丝取出并用粉碎机粉碎15s,将粉末状



(a) 粉碎后的烟丝样品 (b) 压制成片的样品  
(a) Shredded tobacco sample (b) Compressed tobacco sample

图1 样品图

Fig. 1 Sample pictures

烟丝的颗粒直径控制在 200 μm 左右。然后用压饼机(压强为 15 MPa,作用时间 2 min)将样品压

成半径为 10 mm,厚度为 2 mm 的饼状,如图 1 所示。9 种香烟的理化值参数如表 1 所示。

表 1 9 种香烟的理化参数

Tab.1 The physical and chemical parameters of 9 kinds of cigarettes

Brand	Production place	Tar content/mg	CO content/mg	Nicotine content/mg
Esse	Korea	4	-	0.3
HM	Hainan	10	12	0.8
DQM	Shanghai	10	12	0.8
JMT	Henan	10	11	0.8
YY	Taiyuan	10	12	1.1
ZNH	Beijing	5	6	0.4
HHL	Hubei	11	13	1.1
FRW	Hunan	11	11	1.2
ZH	Shanghai	11	11	1

### 2.2 实验装置

实验装置如图 2 所示,激光器为主动调 Q 的 Nd:YAG (QUANTEL, France) 固体激光器,波长为 1 064 nm,频率为 1 Hz,脉宽为 7 ns,激光出射能量为 30 mJ(最大能量输出 100 mJ);光谱仪为三通道光纤光谱仪 (Avantes),光谱分辨率为 0.1 nm,实验过程中积分时间为 1.05 ms;DG535 数字延迟脉冲发生器为激光器和光谱仪提供精准的外触发信号,3 个通道的光谱采集延迟分别为 768.8、769.7 和 769.66 μs。图 2 中激光经过反射镜(M)反射调整光路后,经直径为 25.4 mm、焦距为 60 mm 的透镜聚焦到样品表面,收集装置与激光聚焦方向成 45°进行光信号收集,并将收集到的光耦合至光纤,再传输至三通道光纤光谱仪完成光谱的分光与光电转换<sup>[14]</sup>。实验前,先用能量计监测激光脉冲能量波动,直至激光能量波动

稳定在 5% 以内。每种样品的光谱采集都在同样的试验条件下,分别进行 320 次脉冲打样作为待处理的数据。

香烟样品的等离子体谱图信息如图 3 所示,根据美国国家标准与技术研究院(NIST)的标准原子光谱数据库,对其元素组成进行了鉴定和标记。根据光谱图可知香烟中主要包含的元素有 C、H、Na、Mg、Al、K、Ca 等元素。

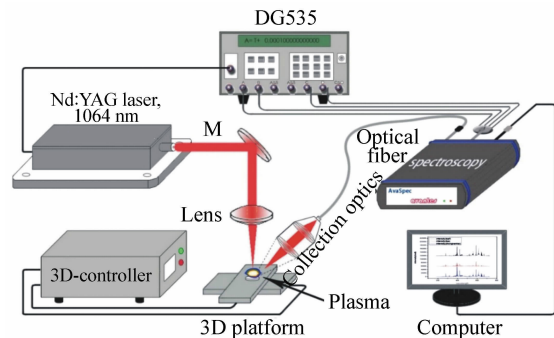


图 2 实验装置 (M:反射镜)

Fig.2 Experimental set-up(M:mirror)

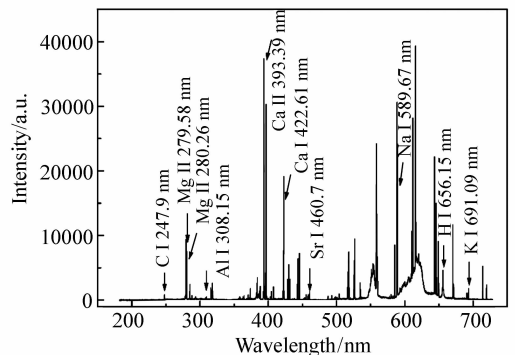


图 3 等离子体发射光谱图

Fig.3 Plasma emission spectra

### 3 结果与分析

对采集到的 LIBS 光谱进行处理,建模的具体步骤如下:光谱数据预处理、主成分分析(PCA)、训练集和测试集比例选取、使用训练集训练 SVM 分类器、SVM 分类器对测试集测试分类。

### 3.1 光谱数据的预处理

对于光谱数据进行预处理,首先删除一些无效数据,本文将波动较大,相对标准偏差(RSD)大于60%的数据视为无效。光谱波动较大除了激光能量抖动外还可能是由于聚焦位置的改变和基体效应的影响;接着对光谱数据进行重组,每4个光谱数据取平均作为一组光谱数据,进一步减少测量的不确定性。重组后,对每个样品的80组数据,进行去背景处理,消除光谱背景常用插值法和窗口平移平滑方法<sup>[15]</sup>。但是插值法去除背景得到的光谱存在光谱信息丢失,如特征峰的相对强度改变、峰的半高宽信息丢失、峰与峰之间的差异性消失、个别带状分子峰丢失等。因此使用了窗口平滑去背景得到了去背景之后的光谱图<sup>[14,16]</sup>。其主要过程如下:

(1)将光谱强度视为 $N$ 个数据点群,即所有的光谱强度是在CCD像素点上光强度的表现;

(2)分割数据点群。将 $N$ 个数据点群分为 $n$ 个小点群,即平滑窗口宽度为 $n$ ,其中

$$\log_2 n = c(c \in N^+), \quad (1)$$

$N$ 个数据点被分为 $h_i$ 组( $i=1,2,\dots,\frac{N}{n}$ );

(3)寻找极值点,找出 $i$ 组数据中每组中的最小值 $L_i$ ,满足:

$$\frac{\partial f(L_i)}{\partial N} = 0, \quad (2)$$

(4)去除背景,将 $h_i$ 组中 $n$ 个数据点减去极

小值 $L_i$ 作为最终光谱强度;

(5)链接窗口,把得到的 $i$ 组消除背景的数据点按照(2)的逆向操作链接为新的光谱。

为处理方便,将背景消除的光谱数据进行寻峰处理。光谱中峰值的确定是根据信号的标准差来确定,一般认为光谱的波动服从标准的正态分布,找出峰值强度大于光谱背景的平均值( $\bar{I}_{BG}$ )加上其3倍标准差的值( $SD_{BG}$ )为特征元素的光谱峰信号。利用下式确定光谱特征峰阈值为:

$$Thrh = \bar{I}_{BG} + 3SD_{BG}. \quad (3)$$

寻峰处理是将非峰值强度置为零,提高了信号的对比如,峰位漂移的情况在线谱中更容易辨别。由于光谱仪的仪器误差,测量的光谱中,特征峰位有时会有一个像素点的漂移。对比某一系列( $p$ 列)光谱与其后一系列( $p+1$ 列)光谱的特征峰的个数,将峰位出现次数较多的那一列作为正常峰位,与其相邻的峰位较少的一列被认为是峰位漂移的结果。此时,需要将漂移的峰位移至正常峰位,得到峰位漂移修正光谱<sup>[16]</sup>。最后对预处理之后的数据进行光谱数据的归一化,把数据处理成 $[-1,1]$ 之间,归一化的公式为:

$$y = 2 \times \frac{y - \min(y)}{\max(y) - \min(y)} - 1, \quad (4)$$

其中, $y$ 为某一幅光谱各个波长处的强度值, $\min(y)$ 为光谱中强度最小的值, $\max(y)$ 为光谱中强度最大的值。

图4为原始光谱与预处理光谱的对比图。

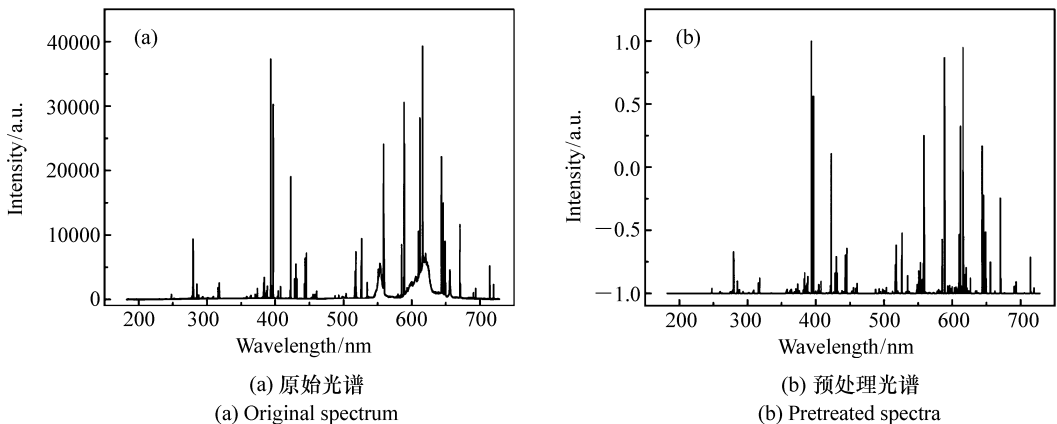


图4 香烟 LIBS 光谱

Fig. 4 Laser-induced breakdown spectra of cigarettes

### 3.2 主成分分析

预处理后每个样本共计 80 组光谱数据,每组数据包含 6 144 个光强,最终得到一个  $720 \times 6\ 144$  的矩阵  $Z$ ,对矩阵  $Z$  进行 PCA 分析。PCA 分析的步骤如下<sup>[17]</sup>:

(1)对样本数据进行标准化。原始数据标准化采用  $p$  维随机变量,选取  $n$  个样品,构造样本阵,对样本阵进行如下标准变换:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}, j = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p, \quad (5)$$

其中,  $\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}, S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n - 1}$ ,得到

标准化矩阵  $Z$ ;

(2)计算相关系数矩阵  $R$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中,  $r(i, j) = \frac{Cov(i, j)}{\sqrt{Var[i]Var[j]}}$ ,  $r(i, j)$  为  $Z$  第  $i$  列和第  $j$  列的相关系数;

(3)求出协方差矩阵的特征值和特征向量

$$AR = \lambda R, \quad (7)$$

其中,  $\lambda$  称为  $R$  的特征值,非零向量  $R$  称为  $A$  对应于特征值  $\lambda$  的特征向量;

(4)根据主成分贡献率选择主成分;

(5)计算主成分得分。

通过对香烟 LIBS 光谱进行 PCA 分析,得到每个主成分的贡献率和累积贡献率,如图 5 所示。

由图可知,香烟的前十个主成分贡献之和达到了 99.04%,表明使用前 10 个主成分足以涵盖这种香烟光谱的大部分信息。利用全谱进行 SVM 分类模型训练,每个光谱所选取的特征点都在十维特征空间中分布。图 6(彩图见期刊电子版)给出了前 3 个主成分组成的三维得分图,每个散点代表一个样本,显示出较好的聚类效果,可以看出,同种香烟的特征点出现明显聚集,可以互相区分。

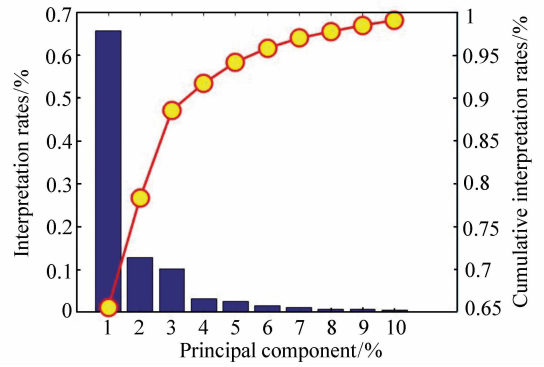


图5 每个主成分得分和主成分累积得分

Fig. 5 Each principal component score and principal component cumulative score

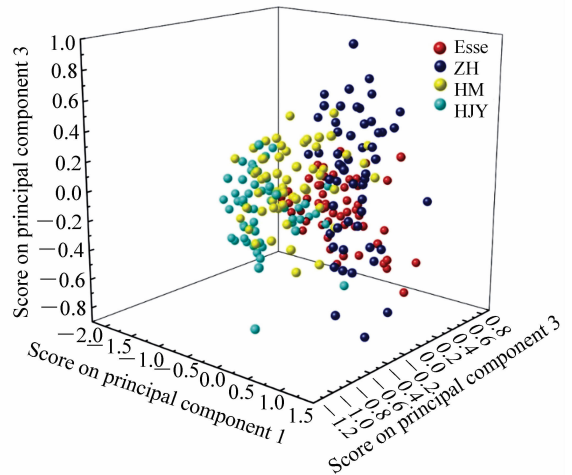


图6 9种香烟前3个主成分的散点分布图

Fig. 6 Scatter diagram of the first three principal components for 9 types of cigarettes

### 3.3 支持向量机分类方法的研究

支持向量机是统计学习理论和结构风险最小原理基础上发展起来的一种分类识别方法<sup>[18]</sup>。选择支持向量机进行特征分类的优势在于可以将多维的特征输入映射到高维的核空间,从而使原本不可分的数据获得新的特征,更利于精确分类<sup>[19]</sup>。对香烟的全部特征峰进行 PCA 降维之后,提取前 10 个主成分构建特征空间。作为一种典型的机器学习算法,在特征空间中需要选取训练集和测试集,通过训练集进行建模,再对测试集进行预测。本次识别借助 MATLAB 中的 SVM 工

具箱中的 Linear Kernel 核函数进行识别分类,惩罚系数 C 和核函数参数值分别设置为 5 和 1。

### 3.4 训练集和测试集的比例选取

首先选择了 4 种训练集和测试集的比例关系,分别为:55:25、58:22、62:18、65:15,其测试集的准确率分别是:96.9%、97.47%、96.30%、94.81%,可以看出随着训练集和测试集比例关系的增加,训练集和测试集的准确率都呈现先增加后减少的趋势。因此在 10 个主成分的条件下选

择 58:22 的比例关系来进行训练和测试。总的样本量为 80 个,因此训练集和测试集分别为 58 个和 22 个。随机抽取 58 个样本作为训练集,剩余的 22 个样本作为测试集,测试结果如表 2 所示。得到训练集分类准确度平均值为 96.70%,测试集的准确度平均值为 97.47%。预测结果表明,模型已经基本可以将 9 种不同香烟进行成功分类。

表 2 测试集准确率  
Tab.2 Test set accuracy

	Esse	ZH	ZNH	YY	DQM	HM	FRW	HJY	HHL	Accuracy
HHL								4.55%	95.45%	95.45%
HJY								100%		100%
FRW							100%			100%
HM						100%				100%
DQM					95.45%				4.55%	95.45%
YY				100%						100%
ZNH			100%							100%
ZH		86.36%							13.64%	86.36%
Esse	100%									100%

基于上述的研究,本文还依据香烟的尼古丁含量、产地、焦油含量进行分类,这 3 个参数均是参照香烟包装上的参数,分类均取得了很好的结果,模型预测的平均准确率分别是 94.72%、95.31%、99.58%。

## 4 结 论

本文通过采集 9 种烟草在 190 ~ 720nm 波长

范围的 LIBS 光谱,对窗口平移平滑去背景、峰位漂移修正和归一化预处理后的光谱数据进行主成分分析,提取前 10 个主成分,并运用 SVM 方法将烟草按照品牌、焦油含量、尼古丁含量和产地等指标分别建立分类模型,模型的平均准确率分别为 97.47%、99.58%、94.72%、95.31%。结果表明利用 LIBS 光谱对烟草进行快速分类是一种可行的分类技术,为香烟普查和香烟的防伪提供了一种快速而有效的检测手段。

### 参考文献:

- [1] 邓晨曦. 基于萤火虫群优化模糊聚类的烟草品质集成分类方法[D]. 衡阳:南华大学,2016.  
DENG CH X. Integrated classification method of tobacco quality based on fuzzy clustering of firefly swarm optimization [D]. Hengyang:University of South China,2016. (in Chinese)
- [2] 张媛媛. 基于图像特征的香烟品牌分类与真假鉴别研究[D]. 北京:北京工业大学,2013.  
ZHANG Y Y. Research on cigarettes brands classification and authentication based on image features[D]. Beijing:Beijing University of Technology,2013. (in Chinese)
- [3] 吴琼,方晶晶,纪建伟. 基于高光谱成像的香烟分类识别研究[J]. 中国高新技术企业,2015(23):63-64.  
WU Q,FANG J J,JI J W. Study on classification and recognition of cigarettes based on high spectral image[J]. *China High-Tech Enterprises*,2015(23):63-64. (in Chinese)

- [4] ZHONG SH L, LU Y, KONG W J, *et al.*. Quantitative analysis of lead in aqueous solutions by ultrasonic nebulizer assisted laser induced breakdown spectroscopy[J]. *Frontiers of Physics*, 2016, 11(4):114202.
- [5] ARAS N, YEŞİLLER S Ü, ATEŞ D A, *et al.*. Ultrasonic nebulization-sample introduction system for quantitative analysis of liquid samples by laser-induced breakdown spectroscopy[J]. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic*, 2012, 74-75:87-94.
- [6] 石焯, 赵南京, 王春龙, 等. 应用激光诱导击穿光谱测量水体中痕量重金属锌[J]. *激光与光电子学进展*, 2012, 49(1):013003.
- SHI H, ZHAO N J, WANG CH L, *et al.*. Measurement of trace heavy metal zinc in water by laser induced breakdown spectroscopy[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2012, 49(1):013003. (in Chinese)
- [7] 陈金忠, 白津宁, 宋广聚, 等. 激光诱导击穿光谱技术测定土壤中元素 Cr 和 Pb[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(4):947-950.
- CHEN J ZH, BAI J N, SONG G J, *et al.*. Determination of Cr and Pb in soil by laser-induced breakdown spectroscopy[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(4):947-950. (in Chinese)
- [8] 谷艳红, 李颖, 田野, 等. 基于 LIBS 技术的钢铁合金中元素多变量定量分析方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(8):2244-2249.
- GU Y H, LI Y, TIAN Y, *et al.*. Study on the multivariate quantitative analysis method for steel alloy elements using LIBS [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(8):2244-2249. (in Chinese)
- [9] KONGBONGA Y G M, GHALILA H, ONANA M B, *et al.*. Classification of vegetable oils based on their concentration of saturated fatty acids using laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) [J]. *Food Chemistry*, 2014, 147:327-331.
- [10] YAO M Y, YANG H, HUANG L, *et al.*. Detection of heavy metal Cd in polluted fresh leafy vegetables by laser-induced breakdown spectroscopy[J]. *Applied Optics*, 2017, 56(14):4070-4075.
- [11] WAINNER R T, HARMON R S, MIZIOLEK A W, *et al.*. Analysis of environmental lead contamination: comparison of LIBS field and laboratory instruments[J]. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 2001, 56(6):777-793.
- [12] 阎宏涛, 昌征. 激光诱导击穿光谱分析法及其在彩绘文物分析与表征中的应用[J]. *文博*, 2009(6):229-233.
- YAN H T, CHANG ZH. The laser-induced breakdown spectroscopy and its application in the polychrome cultural relics [J]. *Relics and Museology*, 2009(6):229-233. (in Chinese)
- [13] 刘晓娜, 吴志生, 乔延江. LIBS 快速评价产品质量属性的研究进展及在中药的应用前景[J]. *世界中医药*, 2013, 8(11):1269-1272.
- LIU X N, WU ZH SH, QIAO Y J. Review on rapid evaluation of product quality attributes and application prospects in Chinese materia medica[J]. *World Chinese Medicine*, 2013, 8(11):1269-1272. (in Chinese)
- [14] LI A, GUO SH, WAZIR N, *et al.*. Accuracy enhancement of laser induced breakdown spectra using permittivity and size optimized plasma confinement rings[J]. *Optics Express*, 2017, 25(22):27559-27569.
- [15] 杨崇瑞. 激光诱导击穿光谱数据处理方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2014.
- YANG CH R. Study of the spectral data processing in laser induced breakdown spectroscopy technology[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014. (in Chinese)
- [16] WANG X SH, LI A, WAZIR N, *et al.*. Accuracy enhancement of laser induced breakdown spectroscopy by safely low-power discharge[J]. *Optics Express*, 2018, 26(11):13973-13984.
- [17] 余琦, 马晓红, 王锐, 等. 基于 LIBS 技术和主成分分析的快速分类方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(11):3095-3099.
- YU Q, MA X H, WANG R, *et al.*. Research on fast classification based on LIBS technology and principle component analyses[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(11):3095-3099. (in Chinese)
- [18] 丁世飞, 齐炳娟, 谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. *电子科技大学学报*, 2011, 40(1):1-10.
- DING SH F, QI B J, TAN H Y. An overview on theory and algorithm of support vector machines[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2011, 40(1):1-10. (in Chinese)
- [19] 黄昕, 张良培. 一种遥感图像空间形状特征提取与分类方法: 中国, CN1932850A[P]. 2007-03-21.
- HUANG X, ZHANG L P. A method for extraction and classification of spatial shape features of remote sensing images:

CN, CN1932850A[P]. 2007-03-21. (in Chinese)

### 作者简介:



李昂泽(1996—),男,硕士研究生,2013于太原师范学院获得学士学位,主要从事激光诱导击穿光谱学方面的研究。  
E-mail:leeangze@163.com



刘瑞斌(1977—),男,河北承德人,博士,教授,博士生导师,1999年、2003年于长春光机学院分别获得学士、硕士学位,2007年于中国科学院物理研究所获得博士学位,主要从事半导体材料和微纳光电器件光学性质、激光器、光电探测、激光光谱学、可调激光等方面的研究。E-mail:liuruibin8@gmail.com

## 《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊,A4开本;刊号:ISSN 2095-1531/CN 22-1400/04;国内外公开发行人,邮发代号:国内12-140,国外BM6782。

- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| ★ 荷兰 Scopus 数据库 | ★ 中国精品科技期刊     |
| ★ 美国《乌利希国际期刊指南》 | ★ 中国科技核心期刊     |
| ★ 美国《化学文献》      | ★ 中国光学学会会刊     |
| ★ 波兰《哥白尼索引》     | ★ 中国科技论文与引文数据库 |
| ★ 俄罗斯《文摘杂志》     | ★ 中国期刊全文数据库    |
| ★ 美国工程索引(Ei)数据库 | ★ 万方数字化期刊全文数据库 |
| ★ 美国 ESCI 数据库   | ★ 中国科技期刊数据库    |
|                 | ★ 中国光学期刊网数据库   |

**主要栏目:**微纳光学、信息光学、集成光电子、光谱学和光谱仪器、激光技术与应用、光学功能材料、光学设计与工艺、大气与空间光学、光学仪器与测试、综述、前沿动态、产业资讯、科普教学、实验室介绍、自然科学基金项目进展、前沿热点访谈、热点论文等。

**发稿类型:**学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

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

协办单位:激光与物质相互作用国家重点实验室

编辑出版:《中国光学》编辑部

投稿网址:<http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn; zgxcn@126.com

联系电话:0431-86176852; 0431-84627061 传 真:0431-84627061

编辑部地址:长春市东南湖大路3888号(130033)