

光谱滤波法提高激光诱导击穿光谱对蔬菜中元素 Pb 的检测精度

杨 晖^{1,2} 黄 林^{1,2} 陈添兵^{1,2} 饶刚福^{1,2} 刘木华^{1,2} 陈金印² 姚明印^{*1,2}

¹(江西省高校生物光电及应用重点实验室, 南昌 330045)

²(江西省果蔬采后处理关键技术及质量安全协同创新中心, 南昌 330045)

摘 要 激光诱导击穿光谱(Laser induced breakdown spectroscopy, LIBS)原始光谱中包含较多噪声信号,为探究不同滤波方法对 LIBS 光谱预处理的影响,本研究以实验室 Pb 污染处理的蔬菜为研究对象,采集波长范围在 400.45 ~ 410.98 nm 的 LIBS 谱线信息,分别利用相邻平均(Adjacent averaging)、Savitzky-Golay(S-G)滤波器、快速傅里叶变换(Fast Fourier transformation, FFT)对采集的 LIBS 光谱进行平滑、去噪,并结合偏最小二乘法(PLS)定量分析模型对光谱处理效果进行评价。结果表明, S-G 平滑效果最优,当 S-G 滤波器窗口宽度为 15,拟合阶次为 3 时, PLS 定量模型效果最佳,其验证集均方根误差(RMSEP)为 0.26、平均相对误差(ARE)为 3.7%。结果表明,选择适合的滤波方法有助于提高 LIBS 光谱质量以及检测模型的精度。

关键词 蔬菜; 铅; 滤波处理; 激光诱导击穿光谱

1 引言

蔬菜是人们最常食用的农产品之一,随着工业与农业现代化的同步发展,蔬菜受到不同程度的重金属污染,其中叶菜类蔬菜受重金属污染问题尤为突出。王艳莉等^[1]对南京市售蔬菜重金属污染状况研究发现叶菜中 Pb 含量最高超标 1.6 倍, Cr 含量最高超标 1.2 倍。徐红颖等^[2]对 25 种蔬菜重金属检测发现韭菜、架豆、六条芹等蔬菜中 Pb 元素超过国标 1 ~ 15 倍,超标率达 100%。传统检测蔬菜中重金属方法主要有原子吸收光谱法(AAS)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)等,虽然这些方法检测精度高,但需要进行复杂的前处理,且还会带来次生污染。因此,发展简单绿色、无污染的检测方法具有重要的现实意义。

激光诱导击穿光谱(Laser induced breakdown spectroscopy, LIBS)利用高能量脉冲激光聚焦于样品表面产生等离子体,获取等离子体信息,对样品进行原子或离子层面的分析测试,提供被测物质的成分与含量信息。LIBS 谱凭借其快速、无损、原位在线、多元素同时检测等优势^[3~5],已成为光学检测研究的热点之一,并随着仪器设备的快速发展, LIBS 技术已逐渐深入煤质检测^[6,7]、环境监控^[8~10]、食品安全检测^[11~14]等领域。

LIBS 在光谱信息获取过程中,由于仪器噪声、外部环境等因素的干扰,导致获得的光谱数据含有较多的随机噪声信号,降低数据质量,增大后期数据分析结果的误差。因此需对光谱信息进行平滑处理,降低噪声、提高信噪比与分析精度。目前,在光谱分析中常用的预处理方法有标准归一化法、小波去噪、多项式平滑等方法。杨崇瑞等^[15]将已校正基线的 LIBS 光谱信号进行小波分解、重构,结合人工神经网络(Artificial neural network, ANN)有效地识别了纯铜与不锈钢的物质种类。Ahmed 等^[16]利用数据归一化降低 LIBS 检测铜合金的基体效应,归一化后的定量曲线相关系数达到 0.99。在 LIBS 定量分析中,研究者更多关注不同化学计量学方法对分析精度的影响^[17~20],而数据前处理对 LIBS 光谱的分析研究较少。

基于此,本研究通过比较相邻平均(Adjacent averaging, AAv)、Savitzky-Golay(S-G)滤波器及快速傅里叶变换(Fast Fourier transformation, FFT)3 种平滑方法对 LIBS 光谱平滑效果的影响,并以 PLS 定

2017-04-05 收稿; 2017-05-31 接受

本文系国家自然科学基金(Nos. 31460419、31560482)、江西省科技支撑计划项目(No. 20151BBG70063)、江西省重大科技项目自然科学基金资助项目(No. 20143ACB21013)、江西省远航工程计划项目(No. 20140142)资助

* E-mail: mingyin800@126.com

量模型的交叉验证均方根误差 (RMSECV)、验证集均方根误差 (RMSEP) 及验证集平均相对误差 (ARE) 作为平滑优劣的评价指标。

2 实验部分

2.1 仪器与试剂

Nd:YAG 固体激光器 (Vilte-200, 输出波长 1064 nm, 脉宽 8 ns, 重复频率 2 Hz, 北京 Beamtech 公司) 作为激光源, 激光经 45° 反射镜垂直通过穿孔反射镜焦距为 100 mm 的平凸透镜, 聚焦在样品表面, 样品置于 SC300 二维旋转平台 (北京卓立汉光公司); 样品表面产生的等离子体强光经 45° 穿孔反射镜作用在焦距为 200 mm 的平凸透镜, 聚焦于光纤收集器上, 光纤收集器与 SR-750 型光谱仪和 DH320T-18U 型 ICCD (英国 Andortm 公司) 连接; DG645 延迟器 (Stanford research systems, USA) 为激光器与光谱仪提供时序精确控制, 装置原理图见图 1。

2.2 实验样品制备

实验样品为日常食用蔬菜 (四季小白菜, Four seasons cabbage), 样品购自江西农业大学农贸市场。为减小水分基体的干扰, 提高 LIBS 检测稳定性, 将样品置于恒温烘箱内, 去除样品水分。烘箱温度设置为 70℃, 干燥 2 天, 期间间隔约 6 h 取出称量一次, 直至样品恒重为止, 此时可认为已完全去除水分, 实验结果表明, 蔬菜平均含水量为 95.43%。将去除水分的样品粉碎并进行实验室 Pb 污染处理, 每个浓度梯度称取 10 g 粉末样品放入培养皿中, 在培养皿中添加浓度系列为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, …… , 15 μg/mL 的含 Pb 溶液 20 mL。搅拌 8 ~ 10 min, 使 Pb 均匀分布在样品中, 将培养皿置于恒温干燥箱, 干燥箱温度设为 40℃, 待水分完全蒸发后取出, 此时污染处理后的粉末样品 Pb 含量 $C_{\text{Pb}} = (C_i V) / M_s$, 其中 C_i 为配制 Pb 溶液浓度, V 为所取 Pb 溶液体积 (20 mL), M_s 为称取粉末样品质量 (10 g)。经计算, 样品 Pb 含量为 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, …… , 30 mg/kg, 共 30 个浓度梯度。污染后的粉末样品用手动压片机以 10 MPa 压力制成 30 mm 的圆饼状, 每个浓度系列样品制作 3 个压片, 每个压片做 3 次 LIBS 重复测试, 结果取平均值。

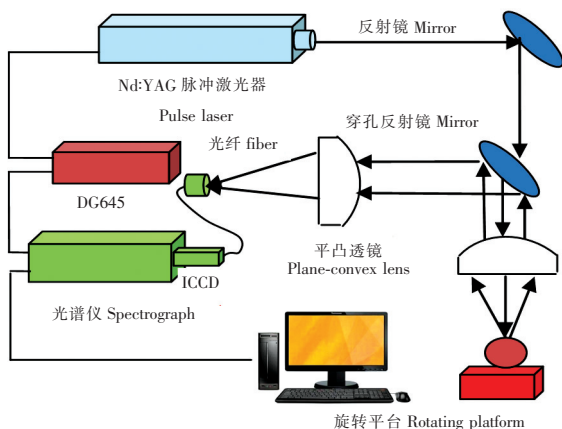


图 1 激光诱导击穿光谱示意图

Fig. 1 Schematic diagram of laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)

3 结果与讨论

3.1 LIBS 光谱获取及平滑预处理

为获取较好的检测效果, 实验前先对仪器参数进行优化, 优化后的实验条件: 光谱采集延迟时间 1.3 μs; 两束脉冲间隔时间 40 ns; ICCD 门宽 2 μs。实验过程中, 激光作用 2 次即采集一副光谱, 每个样品采集 50 副光谱信息。图 2A 为优化条件下 #9 污染样品在 400.45 ~ 410.98 nm 范围内的谱线数据, 图 2B ~ 2D 分别为 AAV、S-G 滤波器平滑、FFT 滤波器平滑后的谱线信息, 平滑窗口宽度为 5 pts。

由图 2 可知, 污染蔬菜原始 LIBS 光谱带有较多的噪声信号, 光谱明显带有较多毛刺; AAV 处理后的光谱平滑程度有较为明显的改善, 基本保留原光谱主要信息, 总体强度有所降低, 保真度介于 S-G 与 FFT 之间; S-G 平滑处理后光谱噪声有所减少, 但效果不及 AAV 明显, 与原光谱主要信息一致, 保真度最大; FFT 平滑效果最为明显, 失去了原始光谱中的一些信息, 保真度最小。

3.2 平滑效果评价参数

在光谱分析中, 通常采用光谱平滑度和强度定性分析光谱的平滑效果, 目前尚未有一种直接指标对光谱数据平滑效果进行定量分析。本研究将处理后的光谱与合适的化学计量学方法结合, 建立定量分析模型, 并对其进行评价。本实验采用偏最小二乘法 (PLS) 进行回归建模, 因该模型稳定性较好,

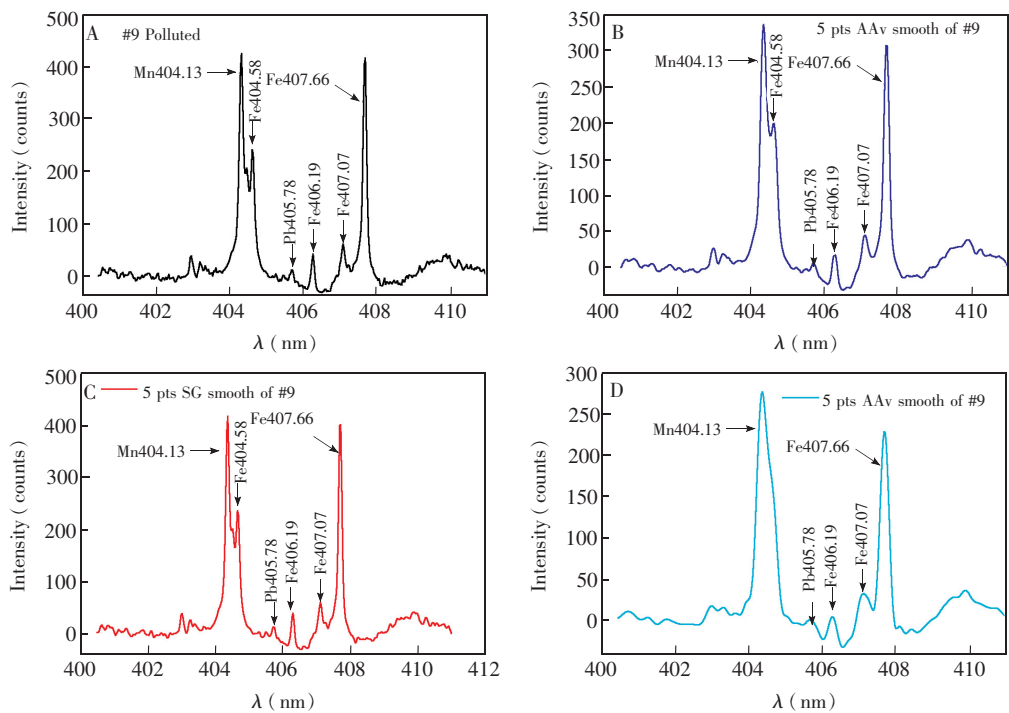


图2 #9 污染样品 LIBS 谱线信息：(A) #9 蔬菜样品在 400.45 ~410.98 nm 范围内 LIBS 原始光谱；(B) AAv 处理后的光谱；(C) S-G 处理后的光谱；(D) FFT 处理后的光谱

Fig.2 LIBS spectra information of polluted #9 sample: (A) #9 spectra at range of 400.45–410.98 nm wavelength; (B) spectra of adjacent average (AAv) wave filtering; (C) spectra of Savitzky-Golay (S-G) wave filtering; (D) spectra of fast Fourier transform (FFT) wave filtering

已被广泛应用在各类光谱分析中^[21~23]。评价指标选取交叉验证均方根误差 (RMSECV)、验证集均方根误差 (RMSEP)、验证集平均相对误差 (ARE)。

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - p_i)^2}$$

$$ARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(x_i - p_i) / x_i|$$

(1)

其中， N 为验证集样本数量， x_i 、 p_i 分别为验证集中第 i 个样品 Pb 参考含量与第 i 个样品模型预测值，RMSEP 与 ARE 值越小说明模型精确度越高。

3.3 结果分析比较

制备的 30 个样本进行定量分析结果表明，其中有 2 个样品预测误差较大的奇异值，导致整体建模效果不理想，因此将 2 个奇异样本剔除，利用剩余的 28 个 Pb 污染处理样品重新建模，样本分为定标集与验证集。28 个样本以步长为 4，分为 4 份，其中第 1、2 和 4 份作为定标集，建立分析模型，定标集包含浓度最大值与最小值；第 3 份作为验证集，用于检验模型的可靠性。为比较不同平滑方法对回归模型预测性能的影响，将平滑窗口宽度设置为 5 时，分别对原始 LIBS 光谱、相邻均值滤波 (AAv)、多项式滤波 (S-G)、快速傅里叶变换滤波 (FFT) 进行试验，其中 S-G 滤波采用二次多项式。结果如表 1 所示。

从表 1 可知，采用 AAv 与 FFT 处理后的 PLS 模型评价指标均劣于原始光谱，模型精度下降，而采用 S-G 处理后的 PLS 模型结果比原始

表 1 不同平滑方法处理光谱构建 PLS 模型预测结果

平滑方法 Smooth method	定标集 Calibration set		验证集 Validation set	
	均方根误差 RMSECV	平均相对 误差 ARE (%)	均方根误差 RMSEP	平均相对 误差 ARE (%)
原始光谱 Original	5.054	42.4	2.387	19.7
相邻均值 AAv	5.261	46.8	2.953	26.1
多项式拟合 S-G	5.098	39.1	2.209	16.9
快速傅里叶变换 FFT	5.451	51.1	3.407	30.0

RMSECV: Root mean square error of cross validation; RMSEP: Root mean square error of prediction; ARE: Average relative error; PLS, partial least square.

光谱预测效果提高。结合图 1 分析, S-G 处理后光谱平滑效果只是略微提高, 但模型的保真度最大, 而经 AAv 与 FFT 处理后平滑效果虽好, 但谱线信息保留不完整, 出现失真现象, 回归模型精度下降。据此选择适合于 LIBS 光谱分析的滤波方法, 本研究选择 S-G 滤波器作为平滑方法, 进一步探究 S-G 滤波器参数选择对平滑结果的影响。

3.4 S-G 滤波器最佳参数选择

S-G 滤波器作为常用的光谱预平滑手段, 在 S-G 滤波器的拟合阶次与窗口宽度选择并无统一依据, 也有研究者针对某一光谱类型 S-G 滤波器的拟合阶次与窗口参数优化选择进行探索, 但并不适用于各类光谱问题的分析中。因此, 本研究将拟合阶次选为二阶与三阶, 窗口宽度设置为 5, 7, 9, 11, 13 和 15, 对多组数据进行遍历尝试, 选取一组较优数据作为 S-G 滤波器的拟合阶次与窗口宽度, 表 2 为 S-G 滤波器参数选取结果。

从表 2 可知, S-G 滤波器当窗口宽度设置 15, 拟合阶次设置为 3 时, PLS 定量模型效果最佳, 其 RMSECV 为 0.555, RMSEP 为 0.26、平均相对误差为 3.7%。同时, 当窗口宽度相同时, 二次多项式与三次多项式有相同的变化趋势, 且结果相近。为进一步探究在窗口宽度相同时, 二次多项式与三次多项式有类似结果的原因, 选取波长范围为 405.49 ~ 405.89 nm 内的 14 波长点, 分别进行二次与三次多项式七点拟合, 拟合结果见图 3。

表 2 S-G 滤波器参数优化结果

Table 2 Results of S-G filter parameters

窗口宽度 Window width	二次多项式 Quadratic polynomial			三次多项式 Cubic polynomial		
	均方根误差 RMSECV	验证均方根误差 RMSEP	平均相对误差 ARE (%)	均方根误差 RMSECV	验证均方根误差 RMSEP	平均相对误差 ARE (%)
5	5.098	2.209	16.9	3.667	1.70	20.7
7	1.798	1.902	9.8	1.796	1.90	9.8
9	1.274	0.993	9.7	1.274	0.99	9.7
11	0.690	0.681	5.7	0.678	0.67	5.2
13	0.430	0.953	8.9	0.423	0.95	9.3
15	0.551	0.307	4.2	0.555	0.26	3.7
17	0.802	0.555	4.0	0.805	0.56	4.0

由图 3 可知, 经二阶与三阶拟合后数值相近, 且与原始数据相差不远。由此说明 S-G 滤波器的阶次选择对于 LIBS 光谱数据平滑的影响较小, 其主要原因是 LIBS 谱线数据符合洛伦兹分布或高斯分布, 二者均与多项式拟合曲线变化趋势较为相同。由此可见 S-G 滤波器适用于 LIBS 数据的平滑作用, 且 S-G 滤波器在去除噪声的同时还可以确保信号的形状、宽度不变。

4 结论

本研究以典型四季小白菜作为叶菜代表, 进行蔬菜样品中重金属 Pb 元素的 LIBS 检测, 对获取的含 Pb 特征谱线 LIBS 数据进行 AAv 平滑、S-G 滤波器平滑、FFT 滤波器平滑预处理, 并结合 LIBS 定量模型比较分析 3 种预处理方法对光谱的影响, 结果表明, S-G 滤波器平滑更适用于 LIBS 光谱数据的前处理, 且当选取 S-G 滤波器窗口宽度为 15 进行三阶拟合时, 验证集均方根误差 (RMSEP) 为 0.26, 平均相对误差为 3.7%, 比原始 LIBS 光谱的 PLS 模型预测性能 (RMSEEP=2.3865 与 ARE=19.66%) 有较为明显的改善。在本实验中 S-G 滤波器的窗口宽度对平滑效果影响较大, 拟合阶次对平滑效果影响并不显著。

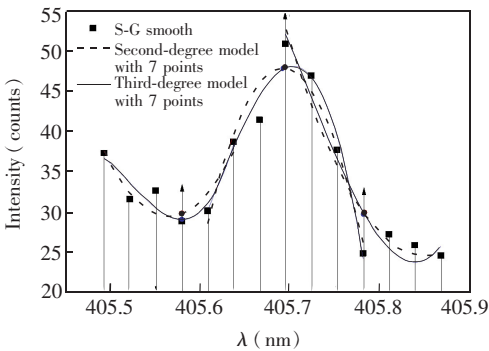


图 3 不同阶次 S-G 平滑原理
Fig.3 Principle of S-G smoothing with different order

References

- 1 WANG Yan-Li, XIE Guo-Xiang, GUO Bao-Fu, ZHAO Shi-Quan, LI Jian-Xin, LI Chun-Ye, JIANG Yun. *Modern Preventive Medicine*, **2014**, 41(12): 2148–2150, 2166
王艳莉, 谢国祥, 郭宝福, 赵士权, 李建新, 李春野, 姜 云. 现代预防医学, **2014**, 41(12): 2148–2150, 2166
- 2 XU Hong-Ying, BAO Yu-Long, WANG Yu-Lan. *Food Research and Development*, **2015**, 36(3): 85–89
徐红颖, 包玉龙, 王玉兰. 食品研究与开发, **2015**, 36(3): 85–89
- 3 ZHAI Yang, ZHU Ri-Hong, SHEN Hua, GU Jin-Liang. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, **2011**, 31(10): 2634–2638
翟 洋, 朱日宏, 沈 华, 顾金良. 光谱学与光谱分析, **2011**, 31(10): 2634–2638
- 4 Matsumoto A, Tamura A, Koda R, Fukami K, Ogata Y, Nishi N, Thornton B, Sakka T. *Anal. Chem.*, **2015**, 87(3): 1655–1661
- 5 ZHANG Ting-Ting, WAN Xiong, SHU Rong, LIU Peng-Xi. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, **2015**, 35(7): 2007–2011
章婷婷, 万 雄, 舒 嵘, 刘鹏希. 光谱学与光谱分析, **2015**, 35(7): 2007–2011
- 6 Yuan Y, Li S, Yao Q. *Proc. Combust. Inst.*, **2015**, 35(2): 2339–2346
- 7 Dong M R, Dayana O, José C, Jhanis J. G, Lu J D, Mao X L, Richard E R. *Spectrochim. Acta B*, **2015**, 109: 44–50
- 8 Mustafa A, Noriah B, Kashif C, Raheleh H. *Anal. Lett.*, **2015**, 53(2): 360–370
- 9 Abul F M, Yusuf H, Bulu R, Zulfiqar H K, Kazi M A. *Environ. Engineer. Sci.*, **2015**, 32(4): 284–291
- 10 HE Xiu-Wen, CHEN Tian-Bing, YAO Ming-Yin, ZHOU Hua-Mao, HU Hui-Qin, WANG Cai-Hong, LIU Mu-Hua. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2016**, 44(1): 68–73
何秀文, 陈添兵, 姚明印, 周华茂, 胡慧琴, 王彩虹, 刘木华. 分析化学, **2016**, 44(1): 68–73
- 11 YANG Ping, YAO Ming-Yin, HUANG Lin, HU Hui-Qin, CHEN Juan, ZHANG Huang-Huang, HU Shu-Fen, WANG Cai-Hong, LIU Mu-Hua. *Journal of Optoelectronics Laser*, **2015**, 26(1): 141–148
杨 平, 姚明印, 黄 林, 胡慧琴, 陈 娟, 张煌煌, 胡淑芬, 王彩虹, 刘木华. 光电子·激光, **2015**, 26(1): 141–148
- 12 Gonca B, Ismail H B, Kemal E E, Ugur T, Serhat C. *Food Chem.*, **2015**, 181: 186–190
- 13 CHEN Tian-Bing, LIU Mu-Hua, HUANG Lin, ZHOU Hua-Mao, WANG Cai-Hong, YANG Hui, HU Hui-Qin, YAO Ming-Yin. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2016**, 44(7): 1029–1034
陈添兵, 刘木华, 黄 林, 周华茂, 王彩虹, 杨 晖, 胡慧琴, 姚明印. 分析化学, **2016**, 44(7): 1029–1034
- 14 LI Zhan-Feng, WANG Rui-Wen, DENG Hu, SHANG Li-Ping. *Chinese Journal of Luminescence*, **2016**, 37(1): 100–105
李占锋, 王芮雯, 邓 琥, 尚丽平. 发光学报, **2016**, 37(1): 100–105
- 15 YANG Chong-Rui, WANG Jia-Sheng, SHENG Xin-Zhi, LOU Shu-Qin. *Infrared and Laser Engineering*, **2014**, 43(11): 3807–3812
杨崇瑞, 汪家升, 盛新志, 娄淑琴. 红外与激光工程, **2014**, 43(11): 3807–3812
- 16 Ahmed N. K, Mohammad A. A. *Spectros. Lett.*, **2015**, 48(6): 403–410
- 17 Yang J H, Yi C C, Xu J W, Ma X H. *J. Anal. Atom. Spectrom.*, **2015**, 30(7): 1541–1551
- 18 HU Yang, LI Zi-Han, LYU Tao. *Laser & Optoelectronics Progress*, **2017**, 54(5): 1–10
胡 杨, 李子涵, 吕 涛. 激光与光电子学进展, **2017**, 54(5): 1–10
- 19 Boucher T F, Ozanne M V, Carmosino M L, Dyar M D, Mahadevan S, Breves E A, Lepore K H, Clegg S. *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, **2015**, 107: 1–10
- 20 YANG Hui, HUANG Lin, LIU Mu-Hua, CHEN Tian-Bing, WANG Cai-Hong, YAO Ming-Yin. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2017**, 45(2): 238–244
杨 晖, 黄 林, 刘木华, 陈添兵, 王彩虹, 姚明印. 分析化学, **2017**, 45(2): 238–244
- 21 XIONG Yan-Mei, TANG Guo, DUAN Jia, LI Chun-Zi, MIN Shun-Geng. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2012**, 40(9): 1434–1438
熊艳梅, 唐 果, 段 佳, 李春子, 闵顺耕. 分析化学, **2012**, 40(9): 1434–1438
- 22 YU Lei, HONG Yong-Sheng, GENG Lei, ZHOU Yong, ZHU Qiang, CAO Jun-Jun, NIE Yan. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **2015**, 31(14): 103–109
于 雷, 洪永胜, 耿 雷, 周 勇, 朱 强, 曹隽隽, 聂 艳. 农业工程学报, **2015**, 31(14): 103–109
- 23 Sarkar A, Karld V, Aggarwal S K, Maurya G S, Kumar R, Rai A K, Mao X L, Russo R. *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, **2015**, 108: 8–14

Spectral Filtering Method for Improvement of Detection Accuracy of Lead in Vegetables by Laser Induced Breakdown Spectroscopy

YANG Hui^{1,2}, HUANG Lin^{1,2}, CHEN Tian-Bing^{1,2}, RAO Gang-Fu^{1,2}, LIU Mu-Hua^{1,2}, CHEN Jin-Yin², YAO Ming-Yin^{*1,2}

¹(Key Laboratory of Optics-Electrics Application of Biomaterials of Jiangxi Province Higher Education, Nanchang 330045, China)

²(Collaborative Innovation Center of Postharvest Key Technology and Quality Safety of Fruits and Vegetables in Jiangxi Province, Nanchang 330045, China)

Abstract There are many noise signals in original laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) spectra. To explore the effect of spectral pretreatment on LIBS information by different filter methods, the LIBS spectra of Pb-polluted cabbage in wavelength range of 400.45–410.98 nm was investigated and preprocessed by adjacent averaging, Savitzky-Golay (S-G) and fast Fourier transformation (FFT). Then partial least square (PLS) model was established for evaluating the spectral treatment effect. The result showed that the root mean square error of prediction (RMSEP) and average relative error of S-G method were 0.26 and 3.7%, suggesting a superior smoothing effect than other methods. Experimental results indicated that an appropriate filtering method could help to improve the spectral quality and raise the precision of model checkout.

Keywords Vegetable; Lead; Filtering processing; Laser induced breakdown spectroscopy

(Received 5 April 2017; accepted 31 May 2017)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 31460419, 31560482).

CNKI 推出《中国高被引图书年报》

日前,中国知网(CNKI)中国科学文献计量评价研究中心推出了一套《中国高被引图书年报》,该报告基于中国大陆建国以来出版的422万余本图书被近3年国内期刊、博硕、会议论文的引用频次,分学科、分时段遴选高被引优秀学术图书予以发布。据研制方介绍,他们统计并分析了2013-2015年中国学术期刊813万余篇、中国博士学位论文101万余篇、中国重要会议论文39万余篇,累计引文达1451万条。根据统计数据,422万本图书至少被引1次的图书达72万本。研制方根据中国图书馆分类法,将72万本图书划分为105个学科,分1949-2009年和2010-2014年两个时间段,分别遴选被引最高的TOP 10%图书,共计选出70911本优秀图书收入《中国高被引图书年报》。统计数据显示,这7万本高被引优秀图书虽然只占全部图书的1.68%,却获得67.4%的总被引频次,可见这些图书质量上乘,在同类图书中发挥了更加重要的作用。该报告还首次发布各学科"学科h指数"排名前20的出版单位的评价指标,对客观评价出版社的社会效益--特别是学术出版物的社会效益具有重要的参考价值。

该报告从图书被引用的角度出发,评价图书的学术影响力,弥补了以销量和借阅等指标无法准确评价学术图书的缺憾,科学、客观地评价了图书、图书作者以及出版单位对各学科发展的贡献。

《中国高被引图书年报》把建国以来出版图书全部纳入评价范围属国内首创,是全面、客观评价图书学术影响力的工具,填补了目前图书学术水平定量评价的空白,在帮助图书馆建设特色馆藏和提高服务水平、帮助出版管理部门了解我国学术出版物现状、帮助科研机构科研管理、帮助读者购买和阅读图书等方面,均具有较强的参考价值,也为出版社评估出版业绩、决策再版图书、策划学科选题提供有用的信息。

《中国高被引图书年报》由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版。该产品的形式为光盘电子出版物,分为理学、工学、农学、医学、人文科学和社会科学6个分卷,随盘赠送图书,欢迎您咨询、订购。咨询电话:010-82710850 82895056 转 8599, email: aspt@cnki.net