

# 有机磷农药气敏传感阵列检测信号小波包降噪方法\*

殷勇 周秋香 于慧春 肖涛

(河南科技大学食品与生物工程学院, 洛阳 471003)

**【摘要】** 针对有机磷农药气敏传感阵列测试信号含有噪声,严重影响测试结果准确性与可靠性这一问题,选择辛硫磷和乙酰甲胺磷农药残留为研究对象,采用基于小波包分解与重构的气体传感阵列信号降噪方法,并借助主成分分析(PCA)和Fisher判别分析(FDA),分别研究了信号降噪前后两种农药不同质量比的鉴别情况。结果表明:传感阵列信号降噪后两种农药的不同残留样品均能被鉴别区分。小波包降噪可有效地提高气敏传感阵列对蔬菜农药残留的鉴别效果。

**关键词:** 农药残留 电子鼻 小波包 降噪

**中图分类号:** TP212.2; X839.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)04-0144-04

## Wavelet Packet Denoising Method of Gas Sensor Array Signals for Detecting Organophosphorus Pesticides in Vegetables

Yin Yong Zhou Qiuxiang Yu Huichun Xiao Tao

(School of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

### Abstract

For the white noise always embeds in signals of gas sensor array, there must be bad influence on the accuracy and reliability of test results while micro or trace organophosphorus pesticide residues in vegetables detection. To solve the problem, acephate and phoxim were selected as test object. A denoising method of gas sensor array signals based on wavelet packet decomposition and reconstruction was practiced. With the help of principal component analysis (PCA) and Fisher discriminant analysis (FDA), the identification results of different concentrations corresponding to the two kinds of pesticide residues were explored and compared, respectively. The results showed that the different concentrations samples corresponding to acephate and phoxim were all well discriminated after the gas sensor array signals treated by the wavelet packet denoising. Therefore, the wavelet packet denoising method could improve identification effect of pesticide residues in vegetables using gas sensor array.

**Key words** Pesticide residues, Gas sensor array, Wavelet packet, Denoising

### 引言

食品安全问题越来越受到重视,蔬菜中农药残留是安全检测的重点,而最常见的农药就是有机磷农药,对于蔬菜中农药残留的常规检测方法(如色谱分析检测法)操作复杂、价格昂贵。因此,一些新的检测方法开始被应用。低价格、高灵敏度的 $\text{SnO}_2$ 型气体传感器已经被应用于蔬菜中有机磷农药残留的检测中,并取得一定的成果<sup>[1]</sup>。但是,传感器阵列实际的测试信号往往含有大量的噪声,这些噪声

会影响到信号的分析结果。因此,对测试信号进行降噪处理是实现农药残留准确检测的一个重要环节。

目前,常用的信号降噪技术主要有:小波变换、奇异值分解、经验模式分解等<sup>[2]</sup>。将小波包分析应用于信号降噪方面的研究成果已有一些报道<sup>[3-5]</sup>,但是将小波包分析理论应用到传感器阵列信号降噪方面的研究还比较少,尤其在微、痕量农药残留检测方面。

针对传感器阵列在工作中易受到各种因素影响

收稿日期:2010-06-02 修回日期:2010-08-20

\* 河南省基础与前沿技术研究计划资助项目(092300410039)

作者简介:殷勇,教授,博士,主要从事农产品、食品品质无损检测技术研究,E-mail: yinyong@mail.haust.edu.cn

而导致输出信号包含噪声问题,本文利用小波包分析方法对传感器阵列信号进行降噪处理,以期提高测试结果的准确性与可靠性。

## 1 试验方法与材料

### 1.1 传感器阵列

传感器阵列由9个金属氧化物气敏传感器组成,分别为:TGS813、TGS842、TGS800、TGS812、TGS821、TGS830、TGS826、TGS831和TGS825。阵列中的每个气敏传感器加热电压为 $(5.0 \pm 0.05)$  V,工作电压为 $(10.0 \pm 0.01)$  V。

### 1.2 样品制备与测量方法

检测对象为含有不同质量分数辛硫磷和乙酰甲胺磷的小青菜浆液。将小青菜清洗处理后打成浆,将质量分数为40%的辛硫磷和30%的乙酰甲胺磷稀释,分别与青菜浆混合,并配制成:辛硫磷质量比为0.025、0.05(国标)、2、6、10 mg/kg,乙酰甲胺磷质量比为0.5、1(国标)、2、6、10 mg/kg的青菜浆液测试样品。

每个样品测量前先进行阵列对测量环境的测试(空载测试),然后再进行样品测量。样品取样量为20 g,并用蒸发皿将样品置于测量室内进行测量。每个传感器响应信息的采样点数为2400个,采样间隔为1 s。每次测量后传感器阵列恢复5 min,再进行下一次的测量。每个质量比等级测试30个平行样品。

## 2 小波包降噪

环境温湿度对气敏传感阵列的测试结果会产生不利影响,这种影响也可称为是一种噪声。为了部分减小这种噪声,在小波包降噪前,先用样品的测量值减去空载测试值,所得的差值即为后续的分析用数据。

小波包的分解与重构方法详见文献[6]。针对2种农药的传感阵列信号的具体降噪步骤如下:

(1)对阵列中每个传感器信号进行小波包分解

采用Symlet小波对阵列中每个传感器信号进行4尺度分解,得到一组小波包分解系数,主要由两部分组成,一部分是不含噪声的低频小波包系数集,另一部分是含噪声的高频小波包系数集。

(2)低频小波包分解系数的阈值化处理

小波包分解系数阈值化处理,就是选择一个恰当的阈值与分解系数进行比较后的系数取舍处理。常用的阈值方法包括DJ阈值、Sure阈值、Penalized阈值和Bayesian阈值方法。Sure阈值是一种无偏似然估计原理的自适应阈值,其给定1个阈值,得到它

的似然估计,再将估计最小化,就可得到所选阈值<sup>[7-8]</sup>。

选择Sure阈值对每个低频小波包分解系数进行阈值化处理。

(3)信号的小波包重构

由于低频信号主要是原信号的近似信号,高频信号主要是噪声信号的体现。因此,对第4尺度分解下的低频小波包分解系数进行阈值化处理,然后对处理后的结果进行小波包重构,便可得到降噪后的传感器重构信号。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 PCA分析

#### 3.1.1 降噪前PCA分析

传感阵列信号降噪前,辛硫磷、乙酰甲胺磷的PCA分析结果如图1所示。

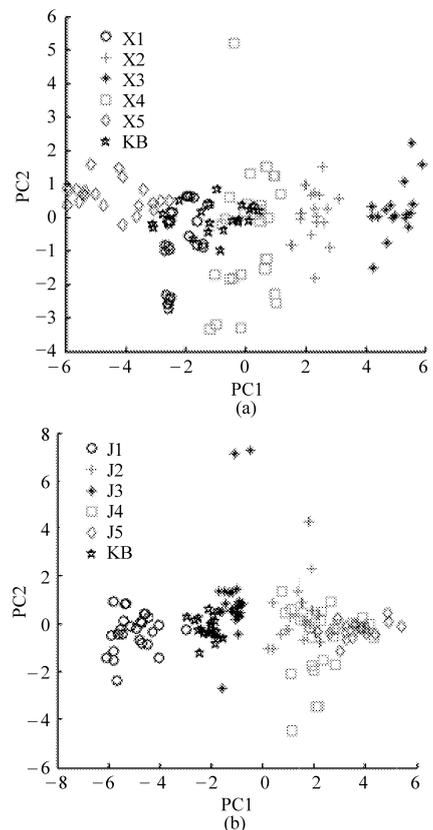


图1 降噪前PCA结果

Fig.1 PCA results before denoising

(a)辛硫磷 (b)乙酰甲胺磷

图1a中,辛硫磷0.025、0.05、2、6、10 mg/kg样品分别用X1、X2、X3、X4、X5表示,不含辛硫磷的空白样品用KB表示(下同)。从图中看出,辛硫磷样品基本能够区分开,但是KB样品却与X1和X4的样品交叠在一起。

图1b中,乙酰甲胺磷的0.5、1、2、6、10 mg/kg样品分别用J1、J2、J3、J4、J5表示,不含乙酰甲胺磷

的空白样品也用 KB 表示 (下同)。从图中看出, J1 与 J3 的样品可以区分开, 但是 KB 样品却与 J3 的样品有部分交叠, 不能完全区分开, J4 的样品与 J2 和 J5 的样品交叠, 不能够区分开。

### 3.1.2 降噪后 PCA 分析

传感阵列信号降噪后, 辛硫磷、乙酰甲胺磷的 PCA 分析结果如图 2 所示。

由图 2a 可看出, 辛硫磷样品与 KB 样品均能很好地被区分开, 分类明显。由图 2b 也可以看出, 乙酰甲胺磷样品与 KB 样品也能够很好地被区分开, 分类也很明显。PCA 分析结果表明, 电子鼻检测信号中含有大量与鉴别无关的信息, 经小波包降噪后可实现有效地鉴别。

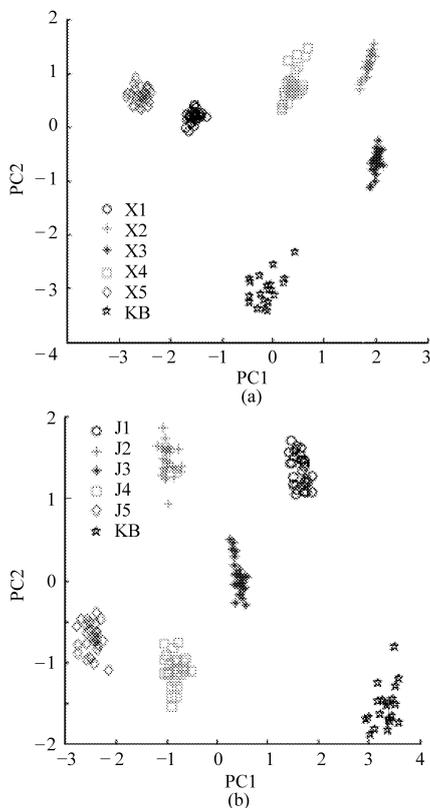


图 2 降噪后 PCA 结果

Fig. 2 PCA results after wavelet packet denoising

(a) 辛硫磷 (b) 乙酰甲胺磷

## 3.2 FDA 分析

### 3.2.1 降噪前 FDA 分析

传感阵列信号降噪前, 辛硫磷、乙酰甲胺磷的 FDA 分析结果如图 3 所示。

由图 3a 可知, 降噪前, 辛硫磷的 X3、X5 样品和 KB 样品能够区分开, 而 X1、X2 和 X5 的样品却交叠在一起。

由图 3b 可知, 降噪前, 乙酰甲胺磷 J4、J5 和 KB 样品能够区分开, J1 的样品基本能够被区分开, J2 和 J3 的样品却交叠在一起。

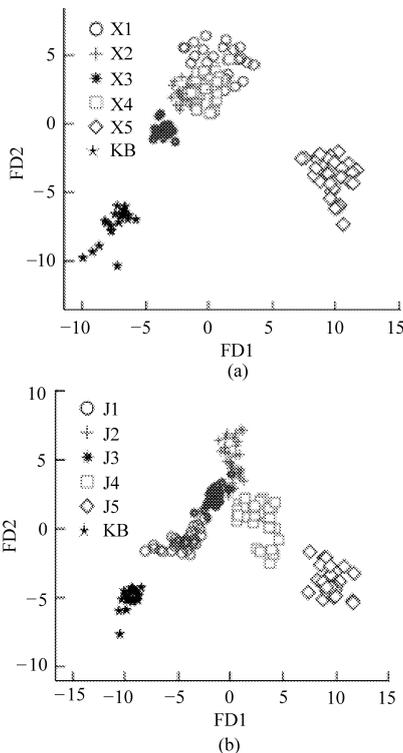


图 3 降噪前 FDA 结果

Fig. 3 FDA results before denoising

(a) 辛硫磷 (b) 乙酰甲胺磷

### 3.2.2 降噪后 FDA 分析

传感阵列信号降噪后, 辛硫磷、乙酰甲胺磷的 FDA 分析结果如图 4 所示。

由图 4a 可看出, 辛硫磷及 KB 样品不仅能区分

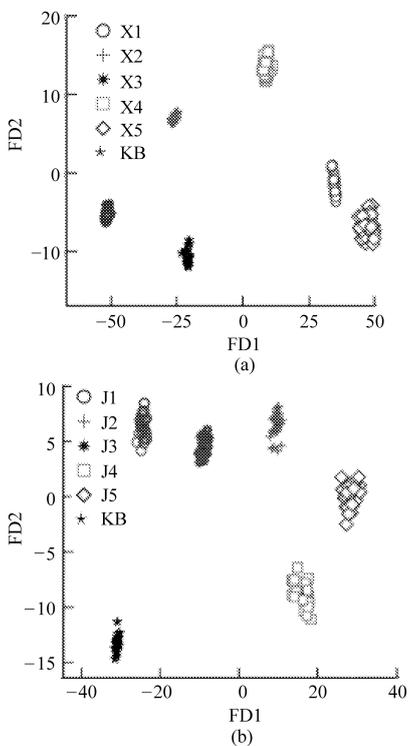


图 4 降噪后的 FDA 结果

Fig. 4 FDA results after wavelet packet denoising

(a) 辛硫磷 (b) 乙酰甲胺磷

开,而且区分效果与 PCA 分析结果相比更好,同一质量比的样品更集中,不同质量比样品的类间距更大,分类很明显。

由图 4b 可知,乙酰甲胺磷及 KB 样品的区分效果也更好。同样,与 PCA 分析结果相比,相同质量比的样品更加集中,不同质量比样品的类间距更大,分类也很明显。

FDA 分析结果与 PCA 分析结果一致,充分说明了小波包对传感阵列信号的降噪效果非常显著。由于不同农药残留可被鉴别,这就为进一步的定量检

测奠定了基础。

## 4 结束语

应用小波包分解与阈值化处理可降低噪声的污染,利用小波包重构可获得少噪声的气敏传感阵列信号。PCA 和 FDA 两种鉴别分析结果表明,小波包降噪方法对传感器信号是非常有效的,提高了传感阵列的检测能力。此研究为气敏传感阵列检测蔬菜农药残留时的微弱信号降噪提供了一种有效手段,同时也为蔬菜农药残留的定量检测奠定了基础。

## 参 考 文 献

- 徐茂勃,殷勇,于慧春. 电子鼻鉴别有机磷农药的一种特征提取方法[J]. 传感器与微系统,2008,28(9):25~27.  
Xu Maobo, Yin Yong, Yu Huichun. Feature extraction method for recognition of organophosphorus pesticides by electronic nose[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2008, 28(9): 25~27. (in Chinese)
- 申永军,杨绍普,张光明. 基于分数 Fourier 变换的自适应信号降噪方法[J]. 振动工程学报,2009,22(3):292~297.  
Shen Yongjun, Yang Shaopu, Zhang Guangming. Adaptive noise reduction method based on fractional Fourier transform[J]. Journal of Vibration Engineering, 2009, 22(3): 292~297. (in Chinese)
- To A C, Moore J R, Glaser S D. Wavelet denoising techniques with applications to experimental geophysical data[J]. Signal Processing, 2009, 89(7): 144~160.
- Ghugre N R, Martin M, Scadeng M, et al. Superiority of 3D wavelet-packet denoising in MR microscopy[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2003, 21(3): 913~921.
- 孔德顺,申永军,张光明. 基于小波包变换相关性的信号降噪方法及齿轮故障诊断[J]. 石家庄铁道学院学报:自然科学版,2008,21(1):55~60.  
Kong Deshun, Shen Yongjun, Zhang Guangming. De-noising method based correlativity of wavelet packet transform and application in fault diagnosis of gear-box[J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute: Natural Science, 2008, 21(1): 55~60. (in Chinese)
- 葛哲学,沙威. 小波分析理论与 MATLAB2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007:115~126.
- 胡波,陈恳,徐建瑜. 一种基于新型小波包阈值的图像去噪方法[J]. 宁波大学学报:理工版,2009,22(4):454~458.  
Hu Bo, Chen Ken, Xu Jianyu. A method for image de-noising based on new wavelet packet threshold [J]. Journal of Ningbo University: NSEE, 2009, 22(4): 454~458. (in Chinese)
- 曲国庆,党亚民,章传银,等. 小波包消噪方法分析及改进[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(4):102~106.  
Qu Guoqing, Dang Yamin, Zhang Chuanyin, et al. Analysis and improvement of de-noising method for wavelet packet[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008, 28(4): 102~106. (in Chinese)

(上接第 143 页)

- 董怡为,鲁亚芳. 蜂蜜的电特性——蜂蜜的电导率与蜂蜜成分的关系[J]. 食品科学,1991,12(11):8~10.  
Dong Yiwei, Lu Yafang. Electrical property of honey—the relationship between honeys' electrical conductivity and composition[J]. Food Science, 1991, 12(11): 8~10. (in Chinese)
- 查忠秀,鲁亚芳,董怡为. 温度对蜂蜜的电导率的影响[J]. 食品科学,1991,12(12):4~7.  
Zha Zhongxiu, Lu Yafang, Dong Yiwei. Effect of temperature on honeys' electrical conductivity[J]. Food Science, 1991, 12(12):4~7. (in Chinese)
- 赵冬香,高景林. 蜂蜜含水量、电导率及温度间变化规律初探[J]. 山西大学学报:自然科学版,1996,19(4):446~450.  
Zhao Dongxiang, Gao Jinglin. Preliminary study on change rules among water content, electrical conductivity and temperature of honey[J]. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 1996, 19(4):446~450. (in Chinese)
- 王凤花,裴正军,介邓飞,等. 农田土壤 pH 值和电导率采集仪设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(6):164~168.  
Wang Fenghua, Qiu Zhengjun, Jie Dengfei, et al. Design and experiment on the field information pH value and electrical conductivity acquisition instrument[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):164~168. (in Chinese)