

# 基于电子鼻技术的烟丝霉变检测

## Detection of tobacco mildew based on electronic nose technology

黄星奕 陈 玮

HUANG Xing-yi CHEN Wei

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**摘要:**霉变是影响烟丝质量的重要因素之一,研究探索建立基于电子鼻技术的烟丝霉变检测方法。构建的电子鼻系统主要由 5 只 SnO<sub>2</sub> 半导体气敏传感器形成反应阵列,采用 BP 神经网络(back propagation neural network, BPNN)为主要的模式识别方法。从每个传感器响应曲线中提取 2 个特征值,使用主成分分析和 BP 神经网络对传感器阵列的所有特征值进行处理。主成分分析结果显示:非霉变烟丝和霉变烟丝存在可区分趋势,但不同霉变程度的烟丝间存在部分重叠。进一步利用 BP 神经网络对霉变烟丝判别,识别正确率达到 90.00%。试验表明,使用电子鼻技术可以客观、有效地区分霉变和非霉变烟丝,为有效控制烟丝质量提供了可靠途径。

**关键词:**烟丝;霉变;电子鼻;神经网络

**Abstract:** Mildew is one of the important factors affecting the quality of pipe tobacco. A detection method was developed for identification of moldy pipe tobacco based on electronic nose. Five SnO<sub>2</sub> semiconductor gas sensors were selected to construct a sensor array of the electronic nose. Back propagation neural network (BPNN) was employed as the pattern recognition method. Two feature parameters were extracted from response curves of each sensor, and principal component analysis (PCA) and BPNN were used to process feature data of the whole sensor array. The results of PCA showed the obvious separability of moldy and normal pipe tobacco, but there was some overlap between different levels of moldy tobacco. BPNN were applied for further identification of different moldy levels. The accuracy of recognition rate for moldy pipe tobacco reached 90.00%. The experiments show that the method developed based on electronic nose is capable to distinguish moldy and normal pipe tobacco objectively and effectively which provides a feasible way in control of tobacco quality.

**Keywords:** pipe tobacco; mildew; electronic nose; neural network

长久以来,对烟丝、烟叶等霉变的检验,主要采用目测法和评吸法<sup>[1]</sup>。人工感官检验带有相当的主观性,目测法会不可避免地出现误判,评吸法则有可能损害评吸者的健康。因此,需要寻求客观、可靠的新方法对烟丝霉变进行辅助评判。

电子鼻是一种由气敏传感器阵列和适当的模式识别方法组成的智能气味检测设备,主要用来检测和分析样品中挥发成分的整体信息。与人的嗅觉判断相比,电子鼻的测定不受主观因素的影响,结果更加客观可靠。近年来,电子鼻技术凭借快速、无损等优势在食品检测<sup>[2,3]</sup>、环境监测<sup>[4,5]</sup>、医药<sup>[6,7]</sup>等领域均得到应用。目前,电子鼻技术在烟草行业中的应用亦有报道。朱先约等<sup>[8]</sup>利用电子鼻技术实现了对不同国家烤烟的有效区分;田耀伟等<sup>[9]</sup>应用电子鼻对卷烟真伪进行了有效鉴别;龙章德等<sup>[10]</sup>使用电子鼻有效地对湖南省不同区县、不同部位的烟叶原料进行了鉴别。然而对于烟草质量检测方面的研究相对较少,还未有使用电子鼻检测烟丝霉变的相关报道。鉴于目前烟草霉变的检测方法还比较传统、单一,且多年来一直未有突破,本研究在实验室研制的电子鼻系统基础上,使用电子鼻技术对烟丝霉变进行无损检测。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

烟丝:云南省红河卷烟厂。样本已经专家评判、贴好标签,见表 1。样本主要分为两大类:霉变烟丝和非霉变烟丝,其中霉变烟丝又包括轻微霉变、中等霉变和严重霉变 3 种。

表 1 样本类别

Table 1 Samples category

样本标签	霉变程度	样本标签	霉变程度
1#	非霉变	3#	中等霉变
2#	轻微霉变	4#	严重霉变

基金项目:江苏省高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:黄星奕(1963—),女,江苏大学教授,博士生导师。

E-mail:h\_xingyi@163.com

收稿日期:2015-06-02

### 1.2 试验仪器

电子鼻系统(图1):由课题组自主研制。系统硬件部分主要包括传感器阵列、数据采集装置、计算机以及气路通道等装置。传感器阵列由5只日本费加罗公司的TGS系列气敏传感器(TGS825, TGS822, TGS2611, TGS2610, TGS826)构成,它们与气体分子发生氧化或还原反应使内部电阻值发生改变,从而引起输出电压的变化。软件部分主要是对传感器阵列输出的电信号进行接收、传输、数据存储及处理。

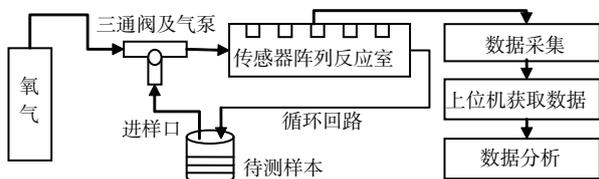


图1 电子鼻系统的结构示意图

Figure 1 The schematic diagram of electronic nose system

### 1.3 试验方法

每次取样5g放入100mL烧杯中,用保鲜膜密封烧杯口。室温下集气30min后进行电子鼻顶空气体采样,采样间隔1s,每个样本采集500个数据。待测气体在微型泵的作用下经进样通道进入传感器阵列反应室,与气敏传感器反应产生电信号。通过上位机软件和数据采集装置将输出的电压值采集到计算机中供后续离线处理、分析。

每次测样后排空气路尾气并向反应室中通入氧气,使传感器复原,为下一次测样做好准备。4种不同类别的烟丝样本交替进行检测。每种取样20个,4种共80个样本。

## 2 结果与讨论

### 2.1 电子鼻数据特征值提取

图2为传感器阵列响应值的原始曲线。由图2可知,在测量初始阶段气敏传感器的响应信号逐渐增强,随着测量时间的推移,响应信号逐步趋于平缓。采集到的测试值实际为传感器对环境的响应值与待测气体的响应值之和。为了消除环境因素的影响提高数据准确度,从采集到的测试值中减去传感器对环境的响应值,得到传感器对待测气体的真实响应值,将所得数据用于特征值提取。

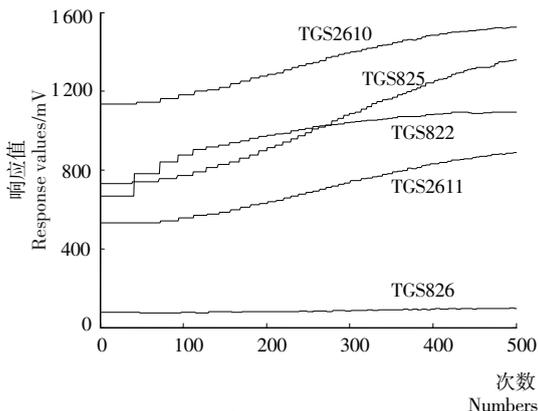


图2 传感器响应原始曲线

Figure 2 The original sensor response curves

图3是进行上述处理步骤后用于特征值提取的数据曲线。根据曲线特性,决定从数据曲线中分别提取稳定值(最后5次采样数据的平均值)和全段数据平均值作为特征值。每个样本通过5个传感器可得到10个特征值。

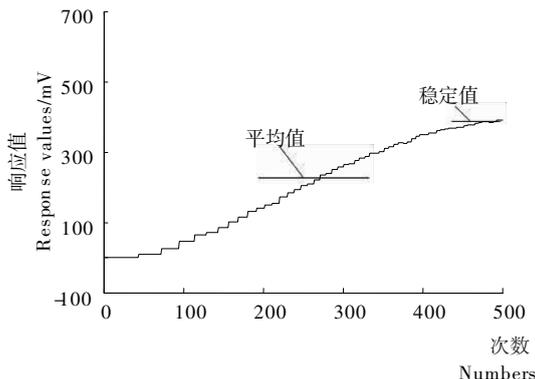


图3 传感器TGS2610响应特征值提取

Figure 3 Feature extraction of sensor TGS2610 response

### 2.2 不同霉变程度的烟丝样本区分

2.2.1 主成分分析 主成分分析(principal component analysis, PCA)是一种多元统计方法,通过降维技术把多个变量转化为少数几个主成分。用少数几个主成分来反映原始变量的主要信息,从而使得问题简化<sup>[1]</sup>。利用PCA方法对提取到的每个样本的10个特征参数进行处理,结果见图4。第一主成分的得分率为80.86%,第二主成分的得分率为8.40%,2个主成分的累积得分率为89.26%,这2个主成分已代表样本的主要特征信息,可用来表示烟丝样本的整体信息。由图4可知,1#、2#和4#样本是完全分开的,2#、3#和4#样本的边缘之间存在部分重叠,表明4种样本总体上存在可区分趋势,其中霉变和非霉变样本可以完全分开。

2.2.2 BP神经网络分析 由于电子鼻获取的气味信号反映的是待测样本的整体信息,且单个传感器对不同气体分子会有不同程度的响应,传感器的响应值与所测气味成分之间并非简单的线性关系,这里采用神经网络来表征它们之间的映射关系。BP神经网络是一种多层前馈神经网络,信号前向传递,误差反向传播。在前向传递中,输入信号从输入层

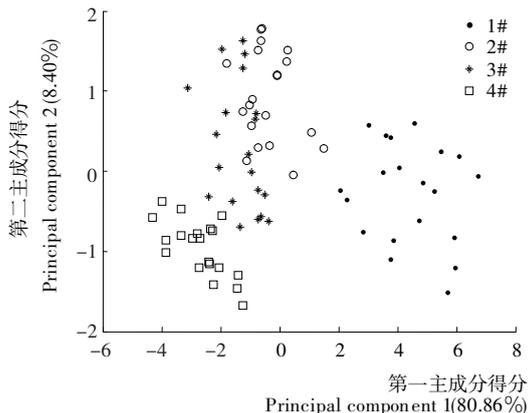


图4 主成分分析结果

Figure 4 The results of principal component analysis

经隐含层逐层处理,直至输出层。如果输出层得不到期望输出,则进入反向传播,根据预测误差调整网络权值和阈值,从而使 BP 神经网络预测输出不断逼近期望输出<sup>[12]</sup>。图 5 为 BP 神经网络的基本拓扑结构,输入层、隐含层和输出层组成为 10-11-4。

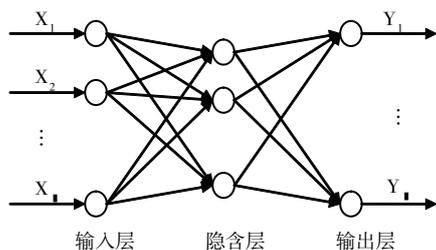


图 5 BP 神经网络的拓扑结构

Figure 5 The topology of BPNN

从 80 个样本中随机抽取 60 个作为训练集,剩余 20 个作为测试集。网络训练部分参数:学习因子  $\eta = 0.12$ ,最大训练次数 1 000 次,目标误差 0.004。经测试,样品训练集的正确率为 93.33%,测试集的正确率为 90.00%,详细结果见表 2。试验结果表明利用电子鼻技术对烟丝是否霉变的识别是可行的、有效的。

表 2 BP 神经网络判别结果

Table 2 The discrimination results of BPNN

样本集	样本标签	判别结果				正确率/%
		1#	2#	3#	4#	
训练集	1#	15	1	0	0	93.33
	2#	0	11	0	1	
	3#	0	1	14	1	
	4#	0	0	0	16	
测试集	1#	4	0	0	0	90.00
	2#	0	8	0	0	
	3#	0	1	3	0	
	4#	0	1	0	3	

### 3 结论

建立了一种使用电子鼻技术对烟丝霉变进行无损检测的新方法。通过使用课题组自主研制的电子鼻对 4 种霉变程度样本检测发现,不同霉变程度的烟丝样本挥发出来的气味指纹信息存在一定的差异。PCA 结果显示不同样本间存在可区分趋势,采用 BP 神经网络可进一步判别不同霉变程度,判别正确率达到 90.00%,表明电子鼻技术可作为一种有效的辅助性手段对烟丝霉变进行客观、可靠的评判。在此基础上,将继续改进现有装置,优化传感器阵列以及探索新的模式识别方法,使其逐渐从实验室阶段向实际应用阶段过渡。

### 参考文献

- 孔凡玉,林建胜,张成省,等. 储烟霉变机理与防霉技术研究进展[J]. 中国烟草学报,2009, 15(5): 78~81.
- Wang Bei, Xu Shi-ying, Sun Da-wen. Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings[J]. Food Research International, 2010, 43(1): 255~262.
- Kazimierz Brudzewski, Stanislaw Osowski, Anna Dwulit. Recognition of coffee using differential electronic nose[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2012, 61(6): 1 803~1 810.
- De Cesare F, Pantalei S, Zampetti E, et al. Electronic nose and SPME techniques to monitor phenanthrene biodegradation in soil[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2008, 131(1): 63~70.
- 田秀英,蔡强,叶朝霞,等. 工业园区 TVOC 和恶臭的电子鼻检测技术研究[J]. 环境科学,2011, 32(12): 3 635~3 640.
- Vassilis S Kodogiannis, John N Lygouras, Andrzej Tarczynski, et al. Artificial odor discrimination system using electronic nose and neural networks for the identification of urinary tract infection[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2008, 12(6): 707~713.
- 邹慧琴,刘勇,陶欧,等. 电子鼻 MOS 传感器阵列优化及其在中药材快速鉴别中的应用[J]. 中国中药杂志,2013, 38(2): 161~166.
- 朱先约,宗永立,李炎强,等. 利用电子鼻区分不同国家的烤烟[J]. 烟草科技,2008(3): 27~30.
- 田耀伟,杨雷玉,朱先约,等. 电子鼻在卷烟真伪鉴别中的应用. 食品工业科技,2011(4): 376~382.
- 龙章德,林顺顺,田兆福,等. 基于电子鼻分析的原料烟叶鉴别[J]. 食品与机械,2013, 29(4): 35~39.
- 王力宾,顾光同. 多元统计分析:模型、案例及 SPSS 应用[M]. 北京:经济科学出版社,2010: 200~205.
- 史峰,王小川,郁磊,等. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010: 1~2.