

基于信噪比分析技术的谷物霉变快速检测方法

惠国华, 倪 彧

(浙江工商大学食品与生物工程学院, 杭州 310035)

摘 要: 该文探索了一种基于半导体气敏传感器阵列和随机共振信噪比分析技术的谷物霉变快速检测方法, 试验测量了大米、小米、燕麦和红豆的霉变试验数据, 输入分析系统处理并输出信噪比谱图, 以基准信噪比特征值-82.5 所包络的噪声宽度作为 4 种谷物样品霉变程度的数字化表征手段, 可以直观地观察到每类样品的霉变过程。大米和小米样品在第 4 天检测时, 就出现了较明显的霉变, 燕麦样品在第 7 天出现霉变, 而红豆样品在检测过程中未发生变化。该分析技术无需信号前处理手段, 并且可以克服传感器基线漂移造成的干扰, 系统响应速度快、重复性好, 具有实际应用价值。

关键词: 谷物霉变, 气敏传感器, 随机共振, 信噪比谱分析

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.061

中图分类号: TP212.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0336-05

惠国华, 倪 彧. 基于信噪比分析技术的谷物霉变快速检测方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 336—340.

Hui Guohua, Ni Yu. Investigation of moldy corn fast detection based on signal-to-noise ratio spectrum analysis technique[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 336—340. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

食品安全是影响人类健康的重要因素, 一直是世界各国相关部门研究的重点。粮食中富含蛋白质、碳水化合物等成分, 具有较高的营养价值。但粮食在生产过程中带有黄曲霉、寄生曲霉、镰刀曲霉、青曲霉等多种霉菌, 在合适的条件下易引起粮食霉变, 释放出霉味、腐败味、酸败味等气味, 此时具有营养的粮食反而变成对人体有毒害的物质, 霉变谷物一旦进入流通市场, 最终将严重危害人民群众的身体健康。在粮食霉变检测领域, 英国 Warwick 大学的 Persand 于 1982 年率先提出气体传感器阵列对几种有机挥发性气体进行类别区分^[1], 此后许多研究人员已经使用类似技术在该领域开展了研究工作。Josson 等考察了微生物释放特征气味, 结合神经网络模式识别算法, 预测粮食品质^[2]。Evans 等则研究了粮食霉变早期挥发性气体成分的变化特征^[3]。Olsson 等则结合气相色谱技术来分析粮食样品^[4]。浙江大学的王俊课题组采用金属氧化物传感器阵列结合主成分分析法对不同霉变程度的谷物进行了深入的研究^[5]。

特征信号的提取是霉变检测过程中一项重要的工作, 传统方法主要包括人工神经网络(ANN)、主成分分析法(PCA)、偏最小二乘法(PLS)、主成分回归(PCR)、多元线性回归(MLR)等^[6-9]。但这些方法存在一定不足, 如人工神经网络(ANN)算法学习速度慢, 训练失败可能性大^[10], 多元线性回归(MLR)由于在分析样品时只用了一些特征波长点的光谱信息, 其他点的信息被丢失,

易产生模型的过适应性; 偏最小二乘法计算量大, 速度慢等, 都在一定程度上影响检测效果。

近年来发展起来的非线性随机共振信号特征提取方法为信号处理领域注入了新的活力。本文的研究工作采用半导体气体传感器阵列检测谷物样品, 根据 4 种谷物样品检测信号筛选出响应最优的传感器, 以随机共振输出信噪比谱分析技术处理该传感器的谷物霉变数据并以基准信噪比-82.5 所包络的噪声宽度表征每种谷物的霉变程度。

1 材料与方 法

1.1 样品制备与试验内容

谷物样品选择大米、小米、燕麦和红豆(购买于物美超市)4 种样品, 每种谷物制作 3 个平行样本, 每种样品称取 25 g 置于塑料瓶中, 并用聚乙烯保鲜膜密封, 存放在温度 30℃、相对湿度 90% 和标准大气压的环境条件下。使用构建的检测系统分别于样品制备存放后的第 1 天、第 4 天、第 7 天和第 10 天检测 4 种谷物共 12 个样本的霉变数据, 样品检测时先通入洁净空气稳定 60 s, 然后通过仪器检测探头将挥发性气体吸入电子鼻气室, 与传感器阵列接触, 产生电信号, 通过高速 A/D 采样单元采集传感器响应信号, 最后通过 USB 控制器将数据传输至计算机进行显示和存储。样品检测时间为 120 s, 然后通入洁净的空气清洗传感器, 以便进行下一次的测量。每种谷物的 3 组平行样本数据取平均后等待处理。

1.2 检测系统设计及检测原理

1.2.1 检测系统设计

许多谷物经存放后特征参数有较大的变化, 霉变过程中会释放出多种特征性气体^[11-12], 而这正是特异性气敏传感器检测谷物霉变的检测原理。图 1 为所研制的检测系统的试验装置示意图, 主要包括数据采集、调理与传输单元, 传感器阵列及气室, 以及供气动力装置 3 个部分。数据采集、调理与传输单元核心器件采用 TI 公司嵌

收稿日期: 2010-07-23 修订日期: 2010-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(81000645); 浙江省自然科学基金项目(Y1100150)资助

作者简介: 惠国华(1980—), 男, 辽宁普兰店人, 博士, 主要从事生物传感技术、智能仿生技术、食品质量与安全技术研究。杭州 浙江工商大学感官科学实验室, 310035。Email: ghui@zjgsu.edu.cn

入式微处理器，控制传感器阵列信号采集、传输，泵阀开启控制等功能。供气动力装置包括气体采样泵，气室清洗泵，相关电磁阀等部件。传感器阵列采用日本 Figaro 公司 8 种半导体气体传感器构成敏感器件阵列(传感器 1: TGS-825: 硫化物。传感器 2: TGS-821: 氢气。传感器 3: TGS-826: 氨气。传感器 4: TGS-822: 酒精、甲苯等。传感器 5: TGS-842: 碳氢组分。传感器 6: TGS-813: 甲烷、丁烷等。传感器 7: TGS-2610: 丙烷、丁烷。传感器 8: TGS-2201: 氮氧化物)。气室采用聚四氟乙烯材料制成，每个传感器的气室独立，样品气/清洗气均匀泵入每个传感器的气室。

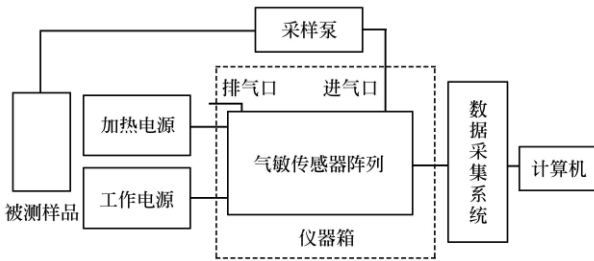


图 1 检测系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of detecting system

1.2.2 检测原理

随机共振是一种在非线形系统中噪声增强输入信号的反直观现象，在信号处理领域已经崭露头角^[13-22]，通常被描述为输出信噪比的增强。随机共振系统包含 3 部分：双稳态系统，输入信号以及噪声源。通常以一个在双稳态势阱中被周期力驱动的过阻尼布朗运动粒子来描述系统特性。

$$dx/dt = -dV(x)/dx + A \sin(2\pi f_0 t + \varphi) + \sqrt{2D} \zeta(t) \quad (1)$$

其中 $V(x)$ 为非线性对称势函数，表征一个双稳态系统。

$$V(x) = 0.25ax^4 - 0.5bx^2 \quad (2)$$

式中， $\zeta(t)$ 为高斯白噪声，其自相关函数为： $E[\zeta(t)\zeta(0)] = 2D\delta(t)$ ； A 是输入信号强度； f_0 是调制信号频率，Hz； D 为噪声强度； a 和 b 为实参数。

目前最普遍的反映随机共振特性的是信噪比，这里我们将信噪比定义为

$$SNR = 2[\lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \int_{\Omega-\Delta\omega}^{\Omega+\Delta\omega} S(\omega)d\omega] / S_N(\Omega) \quad (3)$$

式中， $S(\omega)$ 为信号频谱密度； $S_N(\Omega)$ 为信号频率范围内的噪声强度。

2 结果与分析

检测系统典型的传感器阵列响应信号如图 2 所示，8 个气体传感器对于谷物样品均有响应，但响应幅度不同，我们将传感器阵列的检测数据输入信噪比分析模型进行分析。

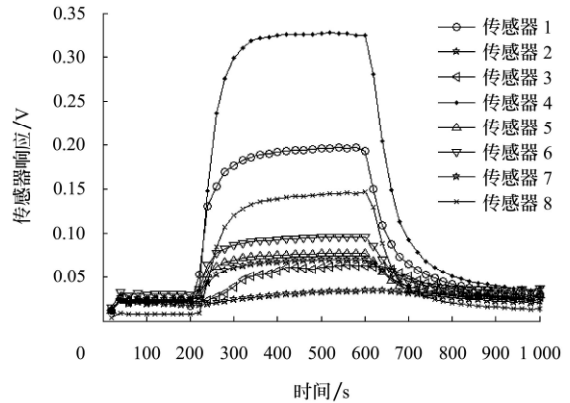
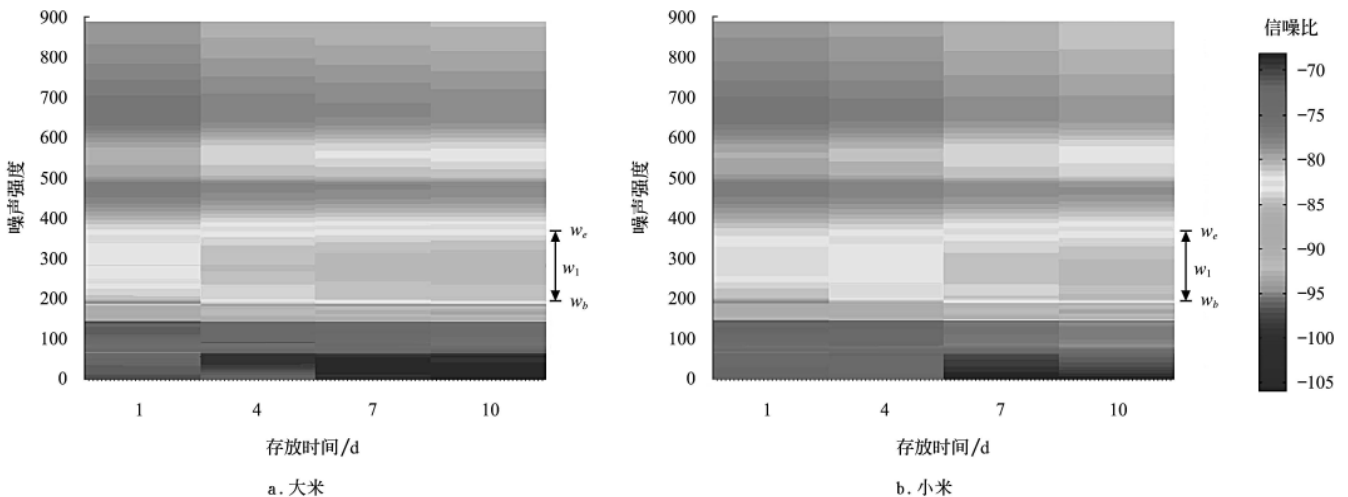


图 2 传感器阵列响应信号

Fig.2 Sensor array electrical response signal

Benzi 等人提出该理论用来解释地球冰川期周期出现的现象^[13,17]，而随机共振算法目前更多的是作为一种微弱信号特征提取的非线性方法来使用^[19-22]，该方法的一个好处在于并非消除检测系统中的干扰信号，而采用噪声调制目标信号产生共振效应，使有用微弱信号得到增强从而易于检测。同时，该方法将传感器阵列对霉变谷物样品的响应信号差异转换为输出信噪比谱特征参数的差异，可以克服传感器在使用过程中的基线漂移带来的不利影响。将每种谷物样品的 4 次检测数据输入信噪比谱分析系统，调节噪声强度得到谷物霉变检测信号的共振信噪比谱，如图 3 所示。



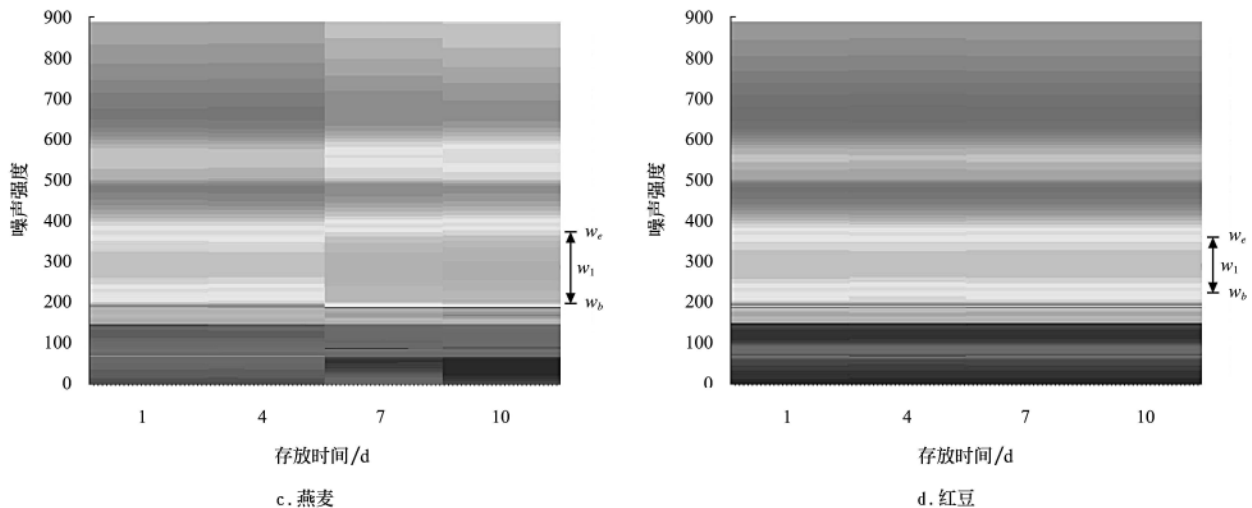


图3 谷物样品检测结果

Fig.3 Detecting results of moldy corn samples

随机共振信噪比谱分析方法是一种新的信号特征提取技术^[20]。图3右侧对比条的颜色梯度代表随机共振输出信噪比数值的变化范围,左侧所示为4种谷物样品的信噪比谱图。从图3a、b、c中的随机共振谱图可以观察到,随着存放天数的增加,大米、小米、燕麦样品的系统输出信噪比谱在某些区域产生明显的变化,如在[200, 400]噪声强度区域,随着谷物霉变程度的增加,谱图的噪声窗口宽度随着增加。而图3d所示的红豆样品在经历十天的密封存放后,信噪比谱图显示基本未发生霉变。对比4种样品的实际物化状态,大米、小米、燕麦确实出现了不同程度的变质,至第10天大米样品和小米样品已经发白并挥发出酸味和发酵味,并出现不同程度的结块现象,燕麦样品部分粘附于塑料杯内壁,颜色明显变暗甚至局部出现灰黑色。而红豆样品以人体感官辨识,色、态、味等均未发生较大变化。我们定义输出信噪比-82.5所包络的噪声宽度 w_1 作为霉变特征量,即选取对比条中信噪比-82.5所对应的色度,在信噪比谱图中的[200, 400]噪声强度区域中找到分布该色度的两个噪声强度值 w_b 和 w_e , $|w_e-w_b|$ 得到包络的噪声宽度 w_1 。大米、小米、燕麦、红豆霉变程度的样品特征值如表1所示。

表1 4种谷物样品信噪比谱特征值

Table 1 Signal-to-noise ratio spectrum eigenvalue of four corn samples

| 谷物种类 | 信噪比谱特征值噪声宽度 w_1 | | | |
|------|-------------------|-----|-----|------|
| | 第1天 | 第4天 | 第7天 | 第10天 |
| 大米 | 171 | 185 | 195 | 210 |
| 小米 | 136 | 176 | 216 | 222 |
| 燕麦 | 169 | 169 | 208 | 216 |
| 红豆 | 167 | 167 | 167 | 167 |

表1所示的信噪比谱特征值实现了4种谷物样品霉变程度的数字化表征,以图4折线图形式所示,以该方法可以定量的表征谷物霉变的程度。信噪比谱图不但可以直观的进行表示谷物样品的霉变过程,也可以采用信噪比

谱特征参数量化样品的霉变程度,这是该方法的一大优势所在。

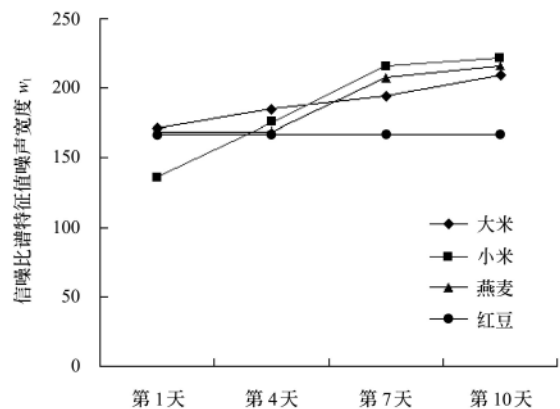


图4 谷物霉变过程与程度检测结果

Fig.4 Detecting result of corn moldy procedure and degree

如图4所示,大米样品在第4天检测时,就出现了较明显的霉变,但之后的第7天、第10天两次检测霉变程度变化不大,小米样品在第4天就出现明显霉变,第7天和第10天两次检测霉变程度依次增加,表明小米样品的霉变过程是一个逐渐递增的过程,燕麦样品在第1天和第4天检测中未出现明显变化,但在第7天出现明显霉变,并且第10天的检测结果与第7天相近,表明燕麦样品出现霉变时间比大米样品、小米样品要长,红豆样品在检测期间未发生明显的霉变。

3 结论

初步建立了一种基于半导体气敏传感器和信噪比谱分析技术的谷物霉变快速检测方法,试验测量了大米、小米、燕麦和红豆的霉变试验数据,输入分析系统处理并输出信噪比谱图,以基准信噪比谱特征值-82.5所包络的噪声宽度作为量化谷物样品的霉变程度的参量,可以直观的观察到的每种样品的霉变过程。检测方法直观、简

单、快速,且试验数据无需任何前处理,同时可以克服传感器基线漂移等问题,具有较好的实际应用价值。本文以气敏传感器阵列响应结合随机共振信噪比谱分析技术对谷物霉变状态进行了探索性的研究工作,后续工作将开展信噪比谱分析技术作为新型模式识别方法在智能电子鼻系统中的应用,并最终建立一整套基于随机共振谱分析技术的智能化电子鼻系统。

[参 考 文 献]

- [1] Persand K, Dodd G H. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose[J]. *Nature*, 1982, 299(5881): 352—355.
- [2] Jonsson A, Winqvist F, Schnurer J, et al. Electronic nose for microbial quality classification of grains[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1997, 35(2): 187—193.
- [3] Magan N, Evans P. Volatiles as an indicator of fungal activity and differentiation between species, and the potential use of electronic nose technology for early detection of grain spoilage[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2000, 36: 319—340.
- [4] Olsson J, Borjesson T, Lundstedt T. Detection and quantification of ochratoxin A and deoxynivalenol in barley grains by GC-MS and electronic nose[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 72(3): 203—214.
- [5] 张红梅, 王俊, 叶盛, 等. 电子鼻传感器阵列优化与谷物霉变程度的检测[J]. *传感技术学报*, 2007, 20(6): 1207—1210.
Zhang Hongmei, Wang Jun, Ye Sheng. Optimized of sensor array and detection of moldy degree for grain by electronic nose[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2007, 20(6): 1207—1210. (in Chinese with English abstract)
- [6] Paolesse R, Alimelli A, Martinelli E, et al. Detection of Fungal Contamination of Cereal Grain Samples by an electronic Nose[J]. *Sensors and Actuators B*, 2006, 119(2): 425—430.
- [7] 潘天红, 陈山, 赵德安. 电子鼻技术在谷物霉变识别中的应用[J]. *仪表技术与传感器*, 2005, (3): 51—52.
Pan Tian-hong, Chen Shan, Zhao De'an. Application of electronic nose technology in moldy foodstuff recognition[J]. *Instrument Technique and Sensor*. 2005, (3): 51—52. (in Chinese with English abstract)
- [8] Evans P, Persaud K C, McNeish A S, et al. Evaluation of a radial basis function neural networks for the determination of wheat quality from electronic nose data[J]. *Sensors and Actuators B*, 2000, 69(3): 348—358.
- [9] Abramson D, Hulasare R, York R K, et al. Mycotoxins, ergosterol, and odor volatiles in durum wheat during granary storage at 16% and 20% moisture content[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2005, 41(1): 61—76.
- [10] 杨晓帆, 陈延槐. 人工神经网络固有的优点和缺点[J]. *计算机科学*, 1994, 21(2): 23—26.
- [11] 周惠明, 张奕. 大米品质改良的现状思路[J]. *粮食与饲料工业*, 1998(4): 10—11.
Zhou Huiming, Zhang Yi. The present situation and tentative idea of improving white rice quality[J]. *Cereal and Feed Industry*, 1998(4): 10—11.
- [12] 周建新. 论粮食霉变中的生物化学[J]. *粮食储藏*, 2004, 32(1): 9—12.
Zhou Jianxin. The biochemistry during grain mildewing[J]. *Grain Storage*. 2004, 32(1): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [13] Benzi R, Sutera A, Vulpiana A. The mechanism of stochastic resonance[J]. *J Phys A*, 1981, 14(11): 453—456.
- [14] Jung P, Hanggi P. Amplification of small signals via stochastic resonance[J]. *Physical Review A*, 1991, 44(12): 8032—8042.
- [15] Gammaitoni L, Hanggi P. Stochastic resonance[J]. *Reviews of Modern Physics*, 1998, 70(1): 223—287.
- [16] Chapeau-Blondeau F. Stochastic resonance at phase noise in signal transmission[J]. *Physical Review E*, 2000, 61(1): 940—943.
- [17] Harmer G P, Davis B R, Abbott D. A review of stochastic resonance: circuits and measurement[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2002, 51(2): 299—309.
- [18] Wenning G, Obermayer K. Activity driven adaptive stochastic resonance[J]. *Physical Review Letters*, 2003, 90(12): 120602_1—120602_4.
- [19] 惠国华, 陈裕泉. 基于碳纳米管微传感器阵列和随机共振的气体检测方法研究[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(2): 179—182.
Hui Guohua, Chen Yuquan. Study of a novel gas detecting system based on carbon nanotubes miniaturization sensor array and stochastic resonance[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2010, 23(2): 179—182. (in Chinese with English abstract)
- [20] 惠国华, 陈裕泉. 随机共振信噪比谱分析方法及其初步应用研究[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(8): 1134—1136
Hui Guohua, Chen Yuquan. Study on stochastic resonance signal-to-noise spectrum analysis and its preliminary application[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*. 2010, 23(8): 1134—1136. (in Chinese with English abstract)
- [21] 吴莉莉, 惠国华, 郭淼, 等. 基于随机共振的气敏传感器阵列信号的识别研究[J]. *传感技术学报*, 2009, 22(5): 664—668.
Wu Lili, Hui Guohua, Guo Miao, et al. Study of the gas sensor array data classified based on stochastic resonance[J]. 2009, 22(5): 664—668. (in Chinese with English abstract)
- [22] Wang Tenghao, Hui Guohua, Deng Shaoping. A novel sweet taste cell-based sensor[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2010, 26(2): 929—934.

Investigation of moldy corn fast detection based on signal-to-noise ratio spectrum analysis technique

Hui Guohua, Ni Yu

(College of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China)

Abstract: Moldy corn not only causes huge financial losses to our country, but also does great harm to human health and life safety. Stochastic resonance signal-to-noise ratio analysis technique is a novel method in sensor signal feature extraction field. In this paper, a gas detection method using semiconductor gas sensor and stochastic resonance signal-to-noise ratio analysis technique was established for rapid detection of moldy corn. Four kinds of corn samples were detected by the proposed method. The results showed that the signal-to-noise ratio analysis technique could characterize the moldy corn feature, and the detecting signal did not need pre-processing. The system has the advantages such as fast response, shorter desorption time, easy to use, low cost, durable, and so on. The system is promising in practical application.

Key words: moldy corn, gas sensors, stochastic resonance, signal-to-noise ratio spectrum analysis

惠国华，等. 基于信噪比分析技术的谷物霉变快速检测方法(图3)

Hui Guohua, et al. Investigation of moldy corn fast detection based on signal-to-noise ratio spectrum analysis technique (Figure 3)

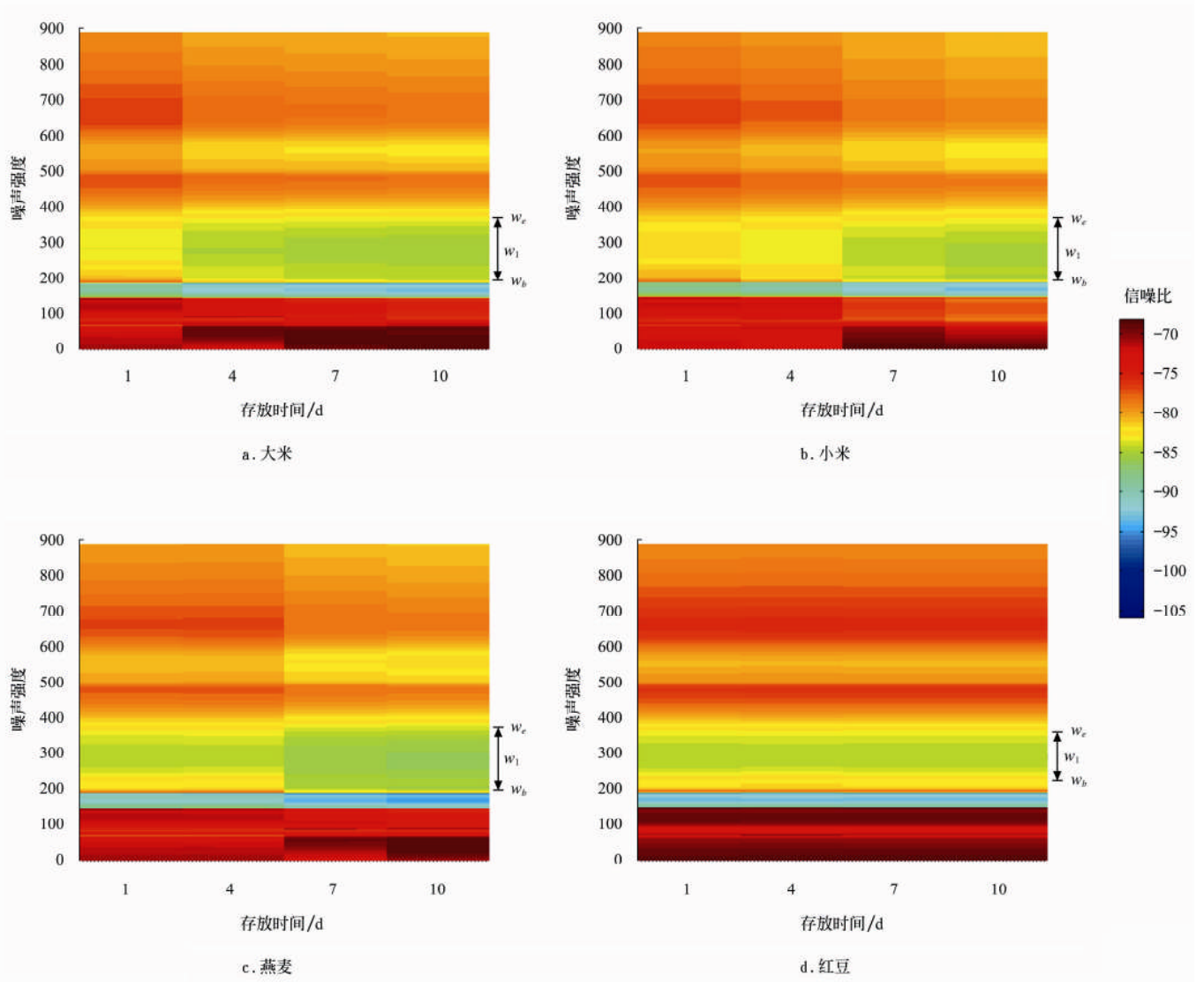


图3 谷物样品检测结果

Fig.3 Detecting results of moldy corn samples