



DOI: 10.12086/oe.2019.190051

## 采用虚拟仪器的种子呼吸测量系统设计

贾良权<sup>1</sup>, 祁亨年<sup>1\*</sup>, 赵光武<sup>2</sup>, 胡文军<sup>1</sup>,  
高璐<sup>1</sup>, 许琴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖州师范学院信息工程学院, 浙江 湖州 313000;

<sup>2</sup>浙江农林大学农业与食品科学学院, 浙江 杭州 311300

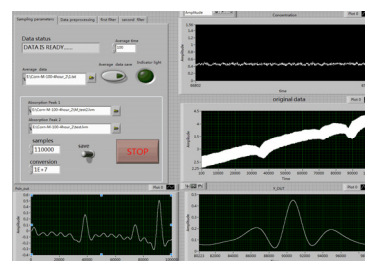
**摘要:** 在种子呼吸 CO<sub>2</sub> 检测系统中, 为了解决传统方法无法对种子呼吸 CO<sub>2</sub> 浓度实时测量的难题, 本文根据种子呼吸 CO<sub>2</sub> 的特点, 基于可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)技术设计了基于虚拟仪器 LabVIEW 的种子呼吸检测系统。该系统主要包括激光光源及其控制器、基于多次反射池结构的种子呼吸容器、数据采集模块。上位机软件中主要设置了数据采集、信号处理、浓度反演等功能模块, 其中浓度反演采用正交矢量的锁相放大算法, 避免了参考信号与待测信号相位差产生的误差。实验结果表明, 采用虚拟仪器软件实现的种子呼吸 CO<sub>2</sub> 检测系统, 能够有效检测种子呼吸变化, 抗干扰性和稳定性都较优, 为后续的实验开展研发奠定了基础。

**关键词:** TDLAS; 二次谐波; 虚拟仪器; CO<sub>2</sub>; 种子呼吸

**中图分类号:** O346

**文献标志码:** A

**引用格式:** 贾良权, 祁亨年, 赵光武, 等. 采用虚拟仪器的种子呼吸测量系统设计[J]. 光电工程, 2019, 46(11): 190051



## Design of seed respiration measurement system using virtual instrument

Jia Liangquan<sup>1</sup>, Qi Hengnian<sup>1\*</sup>, Zhao Guangwu<sup>2</sup>, Hu Wenjun<sup>1</sup>, Gao Lu<sup>1</sup>, Xu Qin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000, China;

<sup>2</sup>School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou, Zhejiang 311300, China

**Abstract:** In the seed breathing CO<sub>2</sub> detection system, the traditional method cannot measure the concentration of CO<sub>2</sub> in the seed breathing in real time. According to the characteristics of seed breathing CO<sub>2</sub>, a seed breathing detection system based on virtual instrument LabVIEW is designed based on tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS). The system mainly includes laser light source and its controller, seed breathing container based on multiple reflecting pool structure. The upper computer software is mainly set with data acquisition, signal processing, concentration inversion and other functional modules, in which the concentration inversion uses the orthogonal vector phase-locked amplification algorithm to avoid the error caused by the phase difference between the reference signal and the signal to be measured. The experimental results show that the CO<sub>2</sub> detection system for seed respiration implemented by virtual instrument software can effectively detect the change of seed respiration,

收稿日期: 2019-01-29; 收到修改稿日期: 2019-05-10

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(31701512); 国家自然科学基金资助项目(61772198); 浙江省重点研发项目(2019C02013); 湖州市自然科学基金资助项目(2017YZ03)

作者简介: 贾良权(1983-), 男, 博士, 讲师, 主要从事 TDLAS 技术及其应用的研究。E-mail: 02426@zjhu.edu.cn

通信作者: 祁亨年(1974-), 男, 博士, 教授, 主要从事种子活力无损检测的研究。E-mail: 02466@zjhu.edu.cn

and has good anti-interference and stability, which lays a foundation for the subsequent experimental research and development.

**Keywords:** TDLAS; the second harmonic; virtual Instrument; CO<sub>2</sub>; seed breath

**Citation:** Jia L Q, Qi H N, Zhao G W, *et al.* Design of seed respiration measurement system using virtual instrument[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(11): 190051

## 1 引言

种子呼吸具有重要的生理意义，种子的活力与种子的呼吸存在正相关性<sup>[1-2]</sup>，通过检测种子呼吸过程中产生的 CO<sub>2</sub> 情况可以有效地反应出种子的活力水平。然而，由于种子呼吸 CO<sub>2</sub> 变化量较小，技术手段和研究方法的局限，对于种子的 CO<sub>2</sub> 呼吸规律目前尚缺乏连续自动监测系统。传统的种子呼吸 CO<sub>2</sub> 监测方法均采用收集 CO<sub>2</sub> 排放总量<sup>[3-4]</sup>，难以获得高时间分辨率的呼吸数据、明确的 CO<sub>2</sub> 变化动态，特别是与活力相关的呼吸变化关系。可调谐二极管激光吸收光谱技术 (tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS) 是近年来发展的一种痕量气体质量浓度监测技术，具有高灵敏、高分辨率的特点，采用 TDLAS 技术对 CO<sub>2</sub> 浓度的检测已相对成熟，检测极限达到 ppm 级别<sup>[5-9]</sup>。因此，将 TDLAS 技术应用于种子呼吸的检测实践已经成熟可行。

NI 公司的虚拟仪器 LabVIEW 软件具有强大的图形环境，采用可视化的图形编程语言和平台，在进行测量系统搭建中具有简单、可靠性好等优点。基于此，本文利用虚拟仪器 LabVIEW 软件和基于 TDLAS 技术原理<sup>[10]</sup>搭建一套种子呼吸检测系统，对吸收池中种子呼出的 CO<sub>2</sub> 气体进行实时采集和气体浓度反演。具有成本低、实时性好、易于拓展等优良特点。

## 2 种子呼吸检测原理及其系统组成

### 2.1 种子呼吸浓度的谐波检测原理<sup>[11-12]</sup>

当可调谐二极管激光器的注入电流为  $i(t)$ ，受到频率为  $\omega_m$  的正弦波调制时：

$$i(t) = i_0 + \delta i \cos(\omega_m t), \quad (1)$$

式中： $i_0$  为偏置电流、 $\delta i$  为电流调制幅度。二极管激光器输出的瞬时频率为

$$\nu(t) = \nu_0 + \delta \nu \cos(\omega_m t), \quad (2)$$

式中： $\delta \nu$  为频率调制幅度， $\nu_0$  为偏置电流对应的二极管中心频率。

二极管激光器的瞬时输出光强  $I(t)$  可以表示为

$$I(t) = I_0 + i_0 \cos(\omega_m t). \quad (3)$$

通常由于调制深度小、频率高，同时考虑频率调制和强度调制的共同作用，忽略非线性调制的影响，二极管激光器的输出瞬时光强可以表示为

$$I_0(\nu_0 + \delta \nu \cos(\omega_m t), t) = I_0(\nu_0) + \delta I_1 \cos(\omega_m t + \varphi), \quad (4)$$

式中： $\varphi$  为线性和非线性频率-幅度相位差。根据 Lambert-Beer 定律，有：

$$I(t) = I_0 \exp[-S(T)NLP\phi(\nu)], \quad (5)$$

其中： $S(T)$  为吸收线线强， $N$  是吸收气体浓度， $L$  是吸收光程长度， $P$  为待测吸收气体的压强， $\phi(\nu)$  是归一化的吸收线线型函数。将式(4)代入式(5)可得到：

$$I(t) = [I_0(\nu_0 + \delta \nu \cos(\omega_m t), t)] \cdot \exp\{-S(T)NLP\phi[\nu_0(t) + \delta \nu \cos(\omega_m t)]\} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n(\omega_L) \cos(n\omega_m t). \quad (6)$$

对于 ppm 量级的痕量气体弱吸收而言，其各次谐波分量可以表示为

$$A_n(\omega_L) = \frac{2^{1-n} I_0 NL}{n!} \delta \omega^n \left. \frac{d^n \sigma}{d\omega^2} \right|_{\omega=\omega_L}. \quad (7)$$

### 2.2 种子呼吸系统组成

基于可调谐二极管激光吸收光谱技术的种子呼吸 CO<sub>2</sub> 检测系统，主要由光学部分、电子学部分、上位机软件部分等组成，结构框图如图 1 所示，其电路部分主要包括：光电探测器(型号为 GAP2000/2.6)、信号调理电路、电流温度控制器(型号为 ITC102)、数据采集卡(型号为 PCI-1714)；光学部分主要包括激光器光源(中心波长为 2004 nm DFB 激光器)、准直器、呼吸容器、高纯氧气等，呼吸容器两侧开进出气孔；上位机软件部分主要设置数据采集和数据处理、存储模块、波形显示模块等部分。

种子呼吸容器如图 2 所示。容器上半部分是种子呼吸腔，用来放置种子，下半部分为多次反射池，反射池内总光程为 16 m，呼吸腔与多次反射池中间用隔层分开，隔层中开孔，孔径 0.1 mm，间距 0.3 mm。

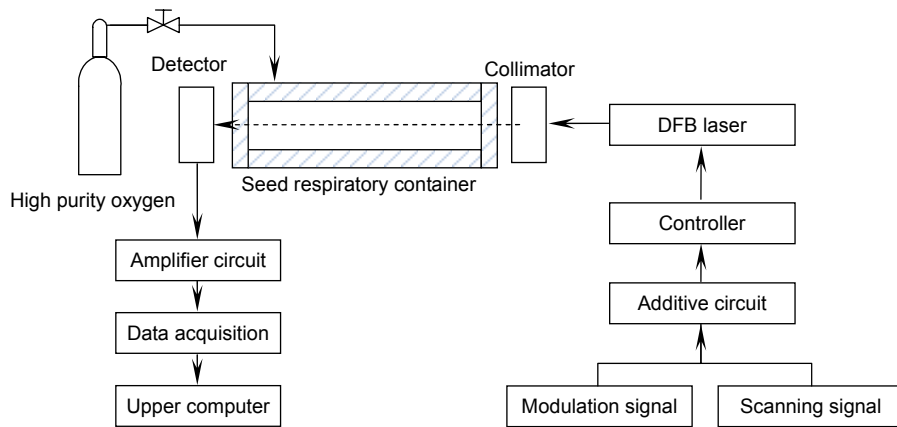


图 1 种子呼吸检测系统组成结构示意图

Fig. 1 Composition schematic diagram of seed respiratory detection system

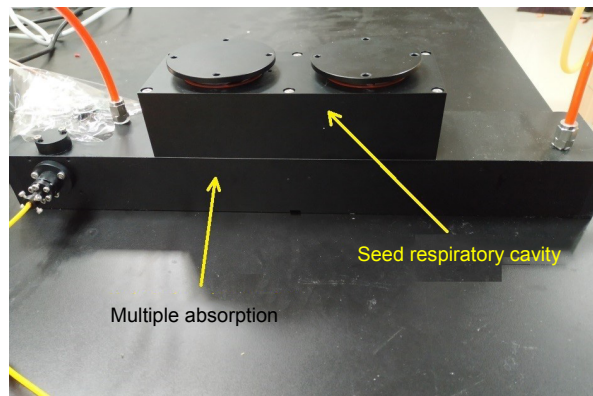


图 2 种子呼吸检测容器

Fig. 2 Seed breath detection container

### 3 基于 LabVIEW 的种子呼吸检测系统虚拟仪器实现

#### 3.1 基于 LabVIEW 的上位机软件设计

基于 LabVIEW 的上位机软件设计，其具体功能有：1) 数据采集：采用研华 PCI-1714 数据采集卡，前面板中设置采集参数范围、采样点数、采样速率、触发设置等基本参数，其中最大采样速率为 30 MHz，采集电压范围 -5 V~+5 V 等；2) 波形显示界面：显示原始数据、预处理数据、二次谐波信号、幅值变化曲线等波形；3) 数据预处理：数据预处理包括滤波器设置、数据累加、平均、滑动平滑等；4) 信号源产生：分别产生一个正弦波信号和余弦波信号，频率可调。上位机界面如图 3 所示。

实验开始前，上位机前面板，设置一个扫描周期的采样点数  $N$ ，采样频率  $F_s$ ，参考信号频率等初始化

参数，启动数据采集，数据采集后送入上位机中进行预处理，先进行滤波，滤除随机噪声，再进行累加、求和、滑动平均，获取较为光滑的信号再进行归一化处理，然后利用正交矢量锁相放大算法进行二次谐波解调，获取二次谐波信号的峰值，通过与标定过的二次谐波信号进行比值计算得到  $CO_2$  气体浓度。为防止环境变化产生误差，实验过程一般在常温常压情况下进行或不同实验条件下再进行修正，其系统工作流程如图 4 所示。

#### 3.2 基于 LabVIEW 的锁相放大算法

一般二次谐波信号使用单通道或双通道正交矢量算法进行解调，使用双通道正交矢量结构，可以消除被测信号与参考信号之间相位差的影响<sup>[13-14]</sup>，从而直接获得目标信号的电压幅值。基于该原理，本设计中，采用软件产生正弦、余弦两路正交信号作为参考输入信号，参考信号频率设置为频率调制正弦波信号频率

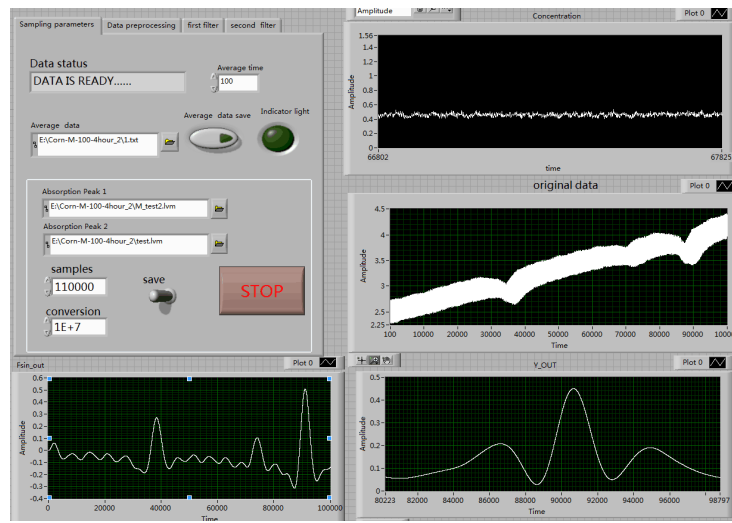


图 3 上位机软件前面板

Fig. 3 Front panel of computer software

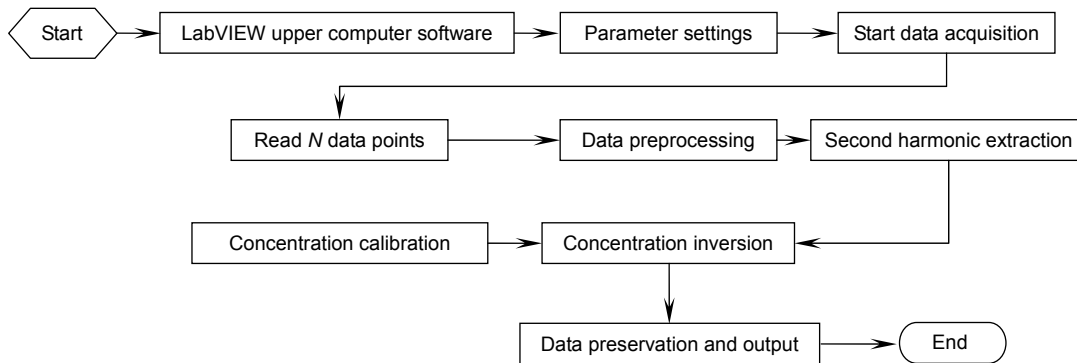


图 4 种子呼吸检测系统流程

Fig. 4 Flow of seed respiration detection system

的 2 倍，两路参考信号分别与吸收信号相乘，经低通滤波提取其直流成分，将两通道滤波后信号分别进行平方求和、开方运算，最终获得二次谐波信号。其中低通滤波模块采用 IIR 结构巴特沃斯滤波器，数字锁相部分程序如图 5 所示。

从锁相放大检测算法可知，相位差对解调结果影响也较大，实际测量中，往往由于信号发生器和数据采集卡采用不同时钟信号源，存在微弱的相位差，随着时间的积累，可能会造成相位差累积，即使采用正交矢量锁相算法，也可能导致结果的偏差。因此，为了准确锁定相位，最佳方法是使用同频信号源准确进行同步，除此之外成本较低的办法是在软件设置中采用算法调整，进行一定的相位补偿。

## 4 实验与数据处理

### 4.1 二次谐波提取与浓度反演

本系统设计中，在浓度反演之前，首先进行浓度标定<sup>[15]</sup>，再依据标定信号利用气体比值法计算出待测量气体浓度值，将百分比浓度为 0.1%至 0.5%的 CO<sub>2</sub> 气体充入种子呼吸容器，分别测量其二次谐波幅值，并按照二次谐波信号的峰值进行数据拟合，扣除系统误差后，得到拟合结果如图 6 所示，其线性拟合优度为 0.9993，系统具有良好的线性度。实验中可以将采集的 0.1%~0.5%浓度气体的二次谐波信号作为标定信号，虚拟仪器软件可设置标定参数值，即可进行浓度实时反演计算。

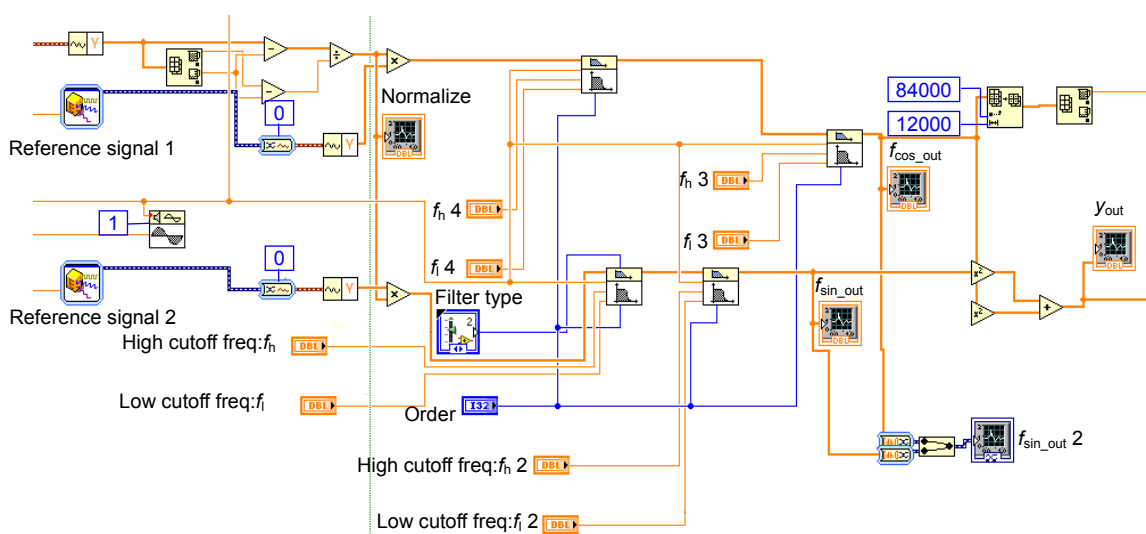


图 5 正交矢量锁相放大算法程序图

Fig. 5 Program diagram of orthogonal vector phase-locked amplification algorithms

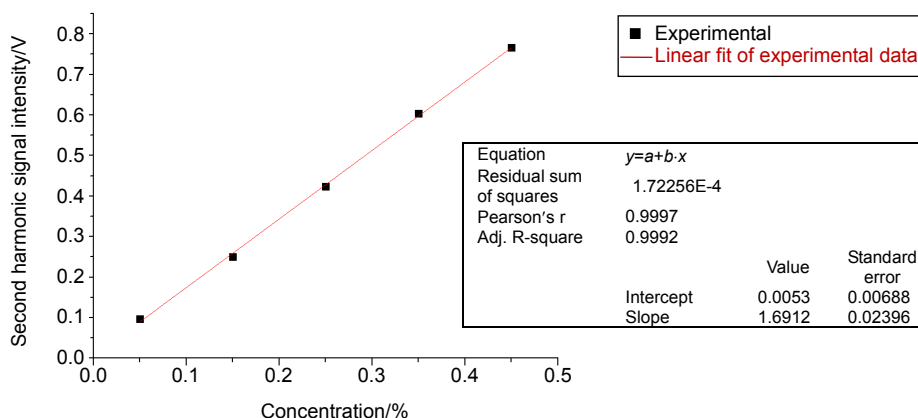


图 6 信号强度和 CO<sub>2</sub> 浓度的线性拟合关系

Fig. 6 Linear fitting relation between signal intensity and CO<sub>2</sub> concentration

由于实验过程会受到各种系统噪声、激光器光强变化等影响，在利用二次谐波信号进行浓度反演时容易造成测量精度误差，故在浓度反演处理时，还需要对背景噪声、光强变化、电压变化等造成的影响进行滤波、平滑、归一化等处理，然后在相同的调制参数和实验环境下进行测量及浓度反演计算，其中二次谐波峰高采用中心频率处拟合后的峰高值，具体浓度反演部分流程如图 7 所示。

#### 4.2 实验结果及分析

设置调制器的频率为 200 kHz，扫描频率为 50 Hz，采样速率 10 MHz，探测器信号经过放大电路后稳压在 4.5 V 左右，通过数据采集卡进行采集、存储，以及在上位机 LabVIEW 软件进行存储和在线预处理。

将 2017 年夏季收获的中等活力糯玉米种子 50 粒 (浸泡 2 h) 放入种子呼吸容器中，呼吸容器体积 1.5 L，进行检测，设置合适的数据采集和解调参数。首先，利用高纯氧气 (气体浓度百分比为 99.999%) 对种子呼吸容器进行冲洗 5 min 左右，排除空气中 CO<sub>2</sub>。然后立刻密封种子呼吸容器的气体入口、出口，随后进行数据采集和记录 8 h 左右，将记录数据导入 OriginPro 8.5 软件中进行处理，获得玉米种子呼吸曲线如图 8 所示，采用 4 次多项式数据拟合，其相关度为 0.99974。

选取 8 h 内的 1 h，2 h，……，8 h 共 8 个时刻，分别计算这 8 个时刻种子的呼吸强度值，再分别取 0~1 h 时段，1 h~2 h 时段，……，7 h~8 h 时段共 8 个时间段，计算种子的呼吸速率，得到种子呼吸强度和呼吸速率值如表 1 所示。



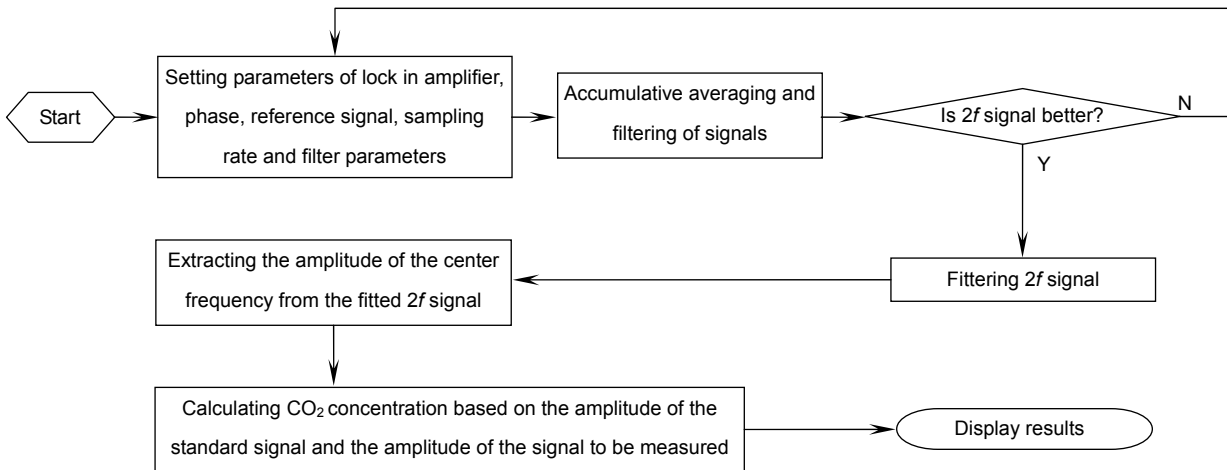


图 7 浓度反演计算流程

Fig. 7 Calculation flow of concentration inversion

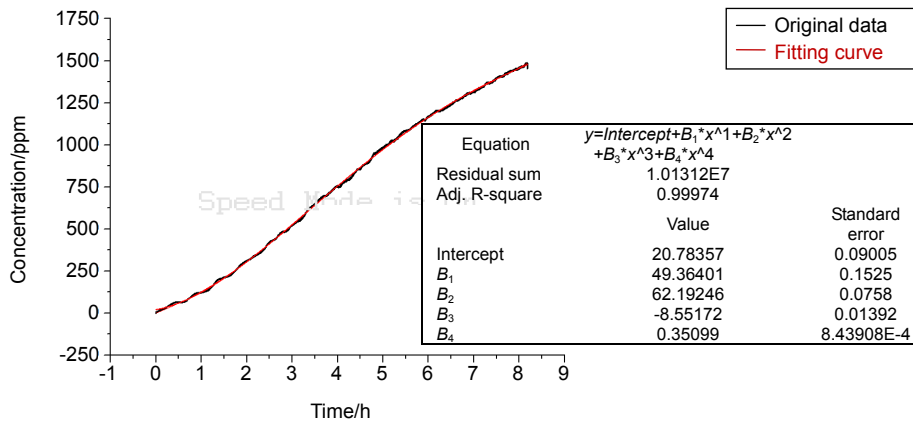


图 8 玉米种子呼吸检测结果

Fig. 8 Respiration test results of corn seeds

表 1 玉米种子呼吸 8 个时间点的呼吸强度及呼吸速率

Table 1 Respiratory intensity and respiratory rate of maize seeds at 8 time points

	1	2	3	4	5	6	7	8
Respiratory intensity/ppm	121.39	310.19	521.81	751.31	983.77	1166.47	1317.15	1459.47
Respiration rate/(ppm/hour)	121.39	188.8	211.62	229.5	232.46	182.7	150.68	142.32

从表中看出,浸泡 2 h 后的糯玉米种子在 8 h 其呼吸强度曲线呈现上升趋势,进一步观察得知,呼吸速率变化规律为先上升后变缓,呼吸速率 1 h 内最慢为 121.39 ppm/h, 4 h~5 h 时间段呼吸速率最强达到 232.46 ppm/h。

## 5 结论

种子呼吸是种子活力的直接体现,对种子呼吸 CO<sub>2</sub> 的监测具有重要的意义,本文根据种子呼吸 CO<sub>2</sub> 测量实验系统要求,利用 TDLAS 技术原理,结合虚

拟仪器 LabVIEW 搭建了种子呼吸测量系统,其优点在于可以对种子呼吸进行实时监测。实验结果显示,采用 LabVIEW 虚拟仪器实现的基于 TDLAS 技术的种子呼吸测量系统能够有效地检测种子呼吸 CO<sub>2</sub> 气体变化情况。该设计方案对后续利用种子呼吸 CO<sub>2</sub> 检测种子活力等级奠定了基础。

## 参考文献

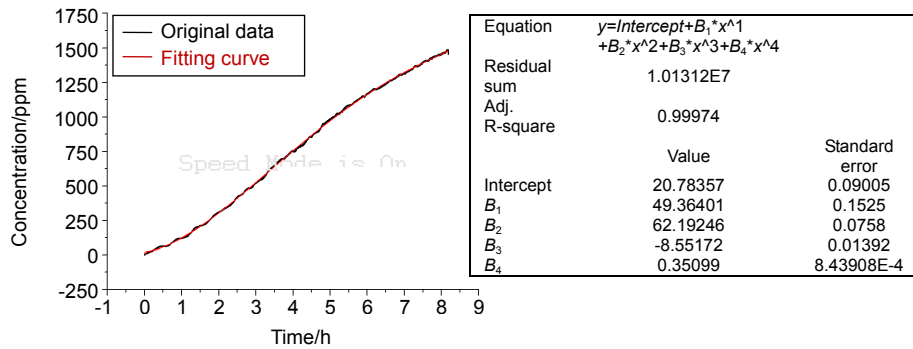
- [1] Perry D A. Report of the vigour test committee 1974–1977[J]. *Seed Science and Technology*, 1978, 6: 159–181.
- [2] Huang Z C, Huang S Z. Study on non-destructive method in seed vigor determination II the relationship between respiratory rate and cabbage seed vigor[J]. *Seed*, 1998(5): 3–5.  
黄真池, 黄上志. 不破坏种子活力测定方法研究 II 种子活力与呼吸速率的关系[J]. *种子*, 1998(5): 3–5.
- [3] Wang R L, Yan J, Li Y Y, et al. Research on the respiratory rate change of wheat under different conditions[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2009, 30(4): 12–16.  
王若兰, 严佳, 李燕羽, 等. 不同条件下小麦呼吸速率变化的研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(4): 12–16.
- [4] Wu F, Zhu K, Yan X P, et al. Study on changes of maize respiration rate under different temperature conditions[J]. *Grain Storage*, 2014, 43(2): 33–38.  
吴芳, 祝凯, 严晓平, 等. 不同温度条件下玉米呼吸速率变化的研究[J]. *粮食储藏*, 2014, 43(2): 33–38.
- [5] Jiang C Y, Sun M X, Li Y X, et al. Breath analysis using laser spectroscopy techniques: development and future[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2018, 45(2): 0207015.  
姜琛昱, 孙美秀, 李迎新, 等. 激光光谱技术在呼吸气体分析中的发展与未来[J]. *中国激光*, 2018, 45(2): 0207015.
- [6] Li M, Guo J J, Ye W Q, et al. Study on TDLAS system with a miniature multi-pass cavity for CO<sub>2</sub> measurements[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2018, 38(3): 697–701.  
李萌, 郭金家, 叶旺全, 等. 基于微型多次反射腔的 TDLAS 二氧化碳测量系统[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(3): 697–701.
- [7] Xu X M, Zhang Y J, He Y, et al. The design and applications of tunable semiconductor laser gas detection circuit based on FPGA[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2014, 41(10): 81–87.  
徐秀敏, 张玉钧, 何莹, 等. 基于 FPGA 可调谐半导体激光气体检测电路设计及应用[J]. *光电工程*, 2014, 41(10): 81–87.
- [8] Yin K W, Xu D, Zhang L, et al. 2D reconstruction for gas temperature and concentration based on TDLAS[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, 43(12): 20–27.  
殷可为, 胥颀, 张龙, 等. TDLAS 技术用于燃烧场气体温度和浓度重建研究[J]. *光电工程*, 2016, 43(12): 20–27.
- [9] He J F, Kan R F, Xu Z Y, et al. Derivative spectrum and concentration inversion algorithm of tunable diode laser absorption spectroscopy oxygen measurement[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(4): 0430003.  
何俊锋, 阚瑞峰, 许振宇, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱气测量中的导数光谱处理与浓度反演算法研究[J]. *光学学报*, 2014, 34(4): 0430003.
- [10] Cui H B, Yang K, Zhang L, et al. Online detection system of CO in cigarette mainstream smoke based on LabVIEW[J]. *Measurement & Control Technology*, 2016, 35(1): 26–29.  
崔海滨, 杨柯, 张龙, 等. 基于 LabVIEW 的卷烟主流烟气中 CO 在线检测系统[J]. *测控技术*, 2016, 35(1): 26–29.
- [11] Zhai C, Yan J, Wang X N, et al. The instrument research on high temperature measurement based on the tunable diode laser absorption spectroscopy[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2015, 42(8): 86–90.  
翟畅, 阎杰, 王晓牛, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱技术的高温温度测量仪器的研究[J]. *光电工程*, 2015, 42(8): 86–90.
- [12] Zhang Z F, Zou D B, Chen W L, et al. Temperature influence in the TDLAS detection of escaping ammonia[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2014, 41(6): 32–37.  
张增福, 邹得宝, 陈文亮, 等. TDLAS 逃逸氨检测中温度影响的研究[J]. *光电工程*, 2014, 41(6): 32–37.
- [13] Miao S Z, Yao D, Zhong G Q, et al. Infrared acetylene sensor based on orthogonal lock-in amplifier and segmental fast fourier transformation[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2018, 45(9): 0911014.  
苗澍茁, 姚丹, 钟国强, 等. 基于正交锁相放大器与分段快速傅里叶变换的红外乙炔传感器[J]. *中国激光*, 2018, 45(9): 0911014.
- [14] Kang Z W, Luo F L, Chen D X, et al. Realization of 3D weak-magnetic signal detection based on orthogonal LIA[J]. *Journal of Transducer Technology*, 2004, 23(12): 69–72.  
康中尉, 罗飞路, 陈棣湘, 等. 利用正交型锁相放大器实现三维磁场微弱信号检测[J]. *传感器技术*, 2004, 23(12): 69–72.
- [15] Li H, Liu J G, Kan R F, et al. Simulation and analysis of second-harmonic signal based on tunable diode laser absorption spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(4): 881–885.  
李晗, 刘建国, 阚瑞峰, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱二次谐波信号的模拟与分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(4): 881–885.

# Design of seed respiration measurement system using virtual instrument

Jia Liangquan<sup>1</sup>, Qi Hengnian<sup>1\*</sup>, Zhao Guangwu<sup>2</sup>, Hu Wenjun<sup>1</sup>, Gao Lu<sup>1</sup>, Xu Qin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000, China;

<sup>2</sup>School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou, Zhejiang 311300, China



Respiration test results of corn seeds

**Overview:** Seed respiration is an important index to reflect seed vigor. There are many problems in the current system for measuring CO<sub>2</sub> applied in seed respiration such as low accuracy, no real-time and continuous measurement of CO<sub>2</sub> concentration produced by seed respiration. In order to solve the above problems, a seed respiration detection system based on LabVIEW virtual instrument software was designed account on TDLAS (tunable diode laser absorption spectroscopy) technology according to the requirements of CO<sub>2</sub> measurement system applied in seed respiration. The system mainly consists as following parts: 1) The laser light source and its controller: the laser light source adopts the DFB laser of Nanoplus company and the wavelength is 2004 nm; 2) The seed breathing container based on the structure of multiple reflection cell: the upper half of the container is seed breathing, which is used to place seeds, and the lower half is multiple reflection pool. The total optical path in the reflection pool is 16 m, and the middle layer between the respiratory cavity and the multiple reflection pool is separated by a spacer; 3) Data acquisition module: the module includes data acquisition card and host computer data acquisition software, which mainly sets up data acquisition, signal processing, concentration inversion and other functional modules. In order to avoid the error caused by the phase difference between the reference signal and the measured signal, the phase-locked amplification algorithm of orthogonal vector was used in the concentration inversion. The background noise, light intensity change, voltage change and other influencing factors were filtered, smoothed and normalized to avoid the second harmonic concentration inversion affected by a variety of system noise, laser intensity changes and other factors, in the concentration inversion processing. Then the measurement and concentration inversion calculation were carried out under the same modulation parameters and experimental environment, in which the second harmonic peak height was fitted by the center frequency, and the concentration was calibrated with standard gas before concentration inversion. In this paper, 50 waxy corn seeds harvested in the summer of 2017 were selected, and then soaked for 2 hours, finally put into the seed respiration container for seed respiration measurement. The modulation frequency was 200 kHz and the scanning frequency was 50 Hz and the sampling rate was 10 MHz, and the detector signal was stabled at about 4.5 V after the amplification circuit. Through the experiment, it was observed that the respiratory intensity curve of waxy corn seeds soaked for two hours showed an upward trend within 8 hours. The respiratory rate increased at first and then slowed down. The slowest respiratory rate was 121.39 ppm/hour within 1 hour, and the strongest respiratory rate reached 232.46 ppm/hour in 4 to 5 hours. The experimental results showed that the system implemented by virtual instrument software to measure the CO<sub>2</sub> produced by seed respiration can effectively detect the change of seed respiration. The design scheme laid a foundation for the subsequent detection of seed vigor grade by seed respiration CO<sub>2</sub>.

**Citation:** Jia L Q, Qi H N, Zhao G W, *et al.* Design of seed respiration measurement system using virtual instrument[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(11): 190051

Supported by National Natural Science Foundation of China (31701512, 61772198), the Key Research and Development Program of Zhejiang Province (2019C02013), and Municipal Natural Science Foundation of Huzhou (2017YZ03)

\* E-mail: 02466@zjhu.edu.cn