

便携式叶绿素、氮素、水分一体化测定仪设计^{*}

韩书庆¹ 于渤¹ 孙明¹ 黄文江² 刘良云³ 孙刚²

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;
3. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100190)

【摘要】 建立了可以同时检测作物叶片叶绿素、氮素和水分的数学模型。结合光谱学原理, 设计了由近红外LED光源、窄带干涉滤光片、光电检测芯片以及单片机系统组成的作物叶片叶绿素、氮素、水分检测一体化便携式仪器, 避免现有仪器由于叶片位置和测定时间差异导致的作物养分探测误差, 可用于作物养分和水分的精细管理。

关键词: 作物叶片 检测 养分 水分 便携式仪器

中图分类号: TP216⁺.1; S237 **文献标识码:** A

Development of a Portable Meter for Detecting Chlorophyll, Nitrogen and Water Contents of Plants

Han Shuqing¹ Yu Bo¹ Sun Ming¹ Huang Wenjiang² Liu Liangyun³ Sun Gang²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China
3. Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract

A new mathematical model for detecting the contents of chlorophyll, nitrogen and water of plants at the same time was established. Combined with the theory of spectroscopy, a portable meter for detecting the contents of chlorophyll, nitrogen and water in crop leaves was developed, which could avoid the error caused by different measuring time and different measuring location on the leaves when the three measuring parameters were accomplished by different instruments. The measurement result could give a better suggestion to precision fertilization and irrigation. The developed meter was composed of NIR (near infrared) LED (light emitting diode), interference filter, photodetector and microprocessor system.

Key words Crop leaves, Detection, Nutrition, Water, Portable meter

引言

养分和水分精细管理是精细农业的重要技术。施氮过多, 容易造成地下水的污染^[1]。我国很多地区处于干旱状态, 水分的精确管理具有重要意义。为了实现作物肥水的精确管理, 首先需要获知作物的养分和水分状况。相比于传统的化学检测方法, 近红外光谱技术具有快速、无损、样品准备简单、

单个光谱可进行多种组分分析、无污染等优点^[2]。基于透射或反射光谱的作物养分检测仪器, 如日本Minolta公司生产的SPAD-502叶绿素计、美国研制的手持式冠层长势仪Greenseeker等已经被广泛应用在农业科研和生产中^[3-4], 检测土壤水分的仪器很多, 但直接检测作物水分的仪器少见报道。

由于作物存在肥水耦合作用^[5], 相比于单一成分检测, 同时检测出作物的养分和水分状况更有利

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-23

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z201)

作者简介: 韩书庆, 硕士生, 主要从事嵌入式系统开发和农作物长势无损检测研究, E-mail: hsq863@163.com

通讯作者: 孙明, 副教授, 主要从事农作物长势无损检测和农产品品质检测技术研究, E-mail: dming_sun@163.com

于精细管理。本文设计作物叶片叶绿素、氮素、水分一体化便携式检测仪,可同时测定叶片 SPAD(soil and plant analyzer development)值、氮含量、水含量,以减少利用不同仪器检测时由于叶片位置及时间差异所引起的误差。

1 仪器原理和模型

1.1 SPAD 模型

SPAD 值可以反映植物叶绿素相对含量^[6],已经被广泛应用于作物叶绿素、氮素水平的检测和作物追肥指导^[3,7~8]。计算式为^[9]

$$S = K \lg \left(\frac{R_T/R_0}{R'_T/R'_0} \right) \quad (1)$$

式中 K ——系数

R_T ——近红外透过光强(940 nm)

R_0 ——近红外光源光强(940 nm)

R'_T ——红光透过光强(650 nm)

R'_0 ——红光光源光强(650 nm)

650 nm 的红光是叶绿素敏感波段,同时胡萝卜素对此波段影响很小^[6];940 nm 的近红外光基本不受色素影响,透过率只受叶片结构影响,利用它们相除进行归一化处理可以消除叶片厚度对测量值的影响^[9]。

通过 650、940 nm 的 LED 光源发光,检测两个光源透过率,计算 SPAD 值,通过 SPAD 值反演作物氮素含量。作物氮素含量和 SPAD 值呈线性关系,但由于比例系数受作物品种和不同生长阶段影响^[3,8],因此对不同品种和不同生育期作物,要根据具体品种和生育期在确定参数后进行氮素反演。

1.2 作物水分反演模型

刘良云等^[10]发现 975 nm 水分吸收特征处与 945 nm 相比,叶片色素、干物质等光谱吸收系数变化可以忽略(叶绿素吸收系数为零,干物质吸收系数变化不到 $0.01 \text{ cm}^2/\text{g}$),但水分吸收系数从 945 nm 处的零变化到 $0.31 \text{ cm}^2/\text{g}$,推导出了利用 975 nm 和 945 nm 波长反演叶片水厚度的公式,并对其进行了验证,相关系数达到了 0.8。计算公式为

$$T_{975} \approx - \frac{\ln[1 - (1 + 1/\alpha)(\tau_{945} - \tau_{975})]}{k_{\text{water}, 975}} \quad (2)$$

$$T = 0.295 T_{975}$$

式中 T ——叶片水厚度

T_{975} ——975 nm 波长辐射等效水厚度

α ——945 nm 和 975 nm 波长的透过率差值与反射率差值的比值系数,通过对多种植物相关分析,确定为 0.640 4

τ_{945} ——945 nm 透过率

τ_{975} ——975 nm 透过率

k_{water} ——水的消光系数,975 nm 波长为 $0.31 \text{ cm}^2/\text{g}$

利用 975 nm 和 940 nm 主动光源照射叶片,通过对这两个波段叶片透过率的检测,反演叶片水厚度,达到对叶片水分检测的目的。

2 硬件设计

仪器采用模块化设计,主要由光路、控制器模块、键盘模块、液晶显示模块和串口模块组成。硬件框图如图 1 所示。

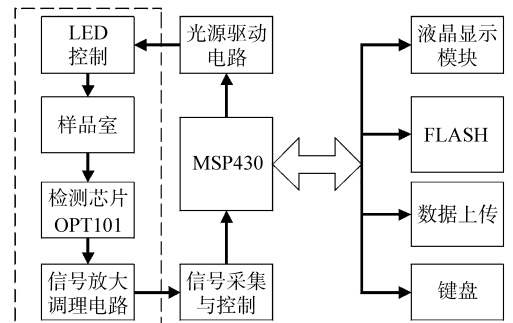


图 1 仪器结构框图

Fig. 1 Diagram of the hardware

2.1 主控制器及外围模块

控制器采用 MSP430F149 单片机,是 TI 公司推出的 430 系列单片机中应用较广的一种。低功耗,内部存储量大,自带 12 位 AD 转换,调试方便,适合作为电池供电的便携式仪器的主控制器。

采用 I²C 接口芯片 PCF8574 扩展引脚,并将 PCF8574 的中断引脚和 MSP430 的具有中断功能的 P1.4 引脚相连。每当有按键按下时,PCF8574 就会产生中断信号,同时微控制器响应中断,调用中断子程序,扫描键盘,并返回键值。

考虑到便携仪器低功耗的要求,选用 CSME-12864A-D 系列低功耗图形点阵模块,控制芯片型号为 ST7565,采用 SPI 串行通信接口方式。128 × 64 的液晶模块,每屏可以显示 32 个 16 × 16 的汉字,或者 64 个 8 × 16 的字符,可以满足便携仪器操作界面显示的要求。

数据通信模块采用 SP3223 智能串口芯片,有自动掉电和唤醒功能,可以完成 TTL/COMS 到 RS232 的电平转换。

2.2 光路设计

光源部分采用发光二极管(LED)加滤光片的方式。LED 只需配合恒流源驱动,电路设计简单,而且具有发光稳定、体积小、无污染、寿命长、价格低廉等特点^[11],适宜在便携式仪器中使用。LED2 和

LED3 的带宽不能完全满足仪器要求,为此在 LED2 和 LED3 前面安装了滤光片。光路结构如图 2 所示。

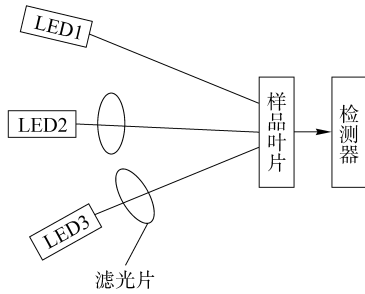


图 2 光路结构示意图

Fig. 2 Structure of optical path

光源的稳定性对光谱数据的测量精度有很大影响,因此必须设计稳定的恒流源电路来控制光源发光,以提高仪器信噪比。利用 LM336 产生基准电压 2.5 V,通过三极管和 ULN2003 达林顿管阵列集成芯片提高电流的驱动能力,通过可变电阻可以调节恒流源电流大小,使 3 个发光二极管透过滤光片照到检测芯片上的光强接近,并且使输出电压略小于模数转换器(ADC)满量程电压,这样可以有效提高测量精度。

光电检测器选用 BURR BROWN 公司的 OPT101 芯片,为光强转电压的集成芯片,内带运放电路,可以外接电阻,因此灵敏度可调。检测器的光谱响应范围覆盖了仪器光源的 3 个波长。

MSP430F149 单片机内部自带 12 位 A/D 转换,可以完成对检测芯片输出的模拟电压的检测,减少分立器件的干扰。

3 软件设计

3.1 系统主程序工作流程

在 IAR Embedded Workbench 3.42 环境下,编写了系统主程序。系统主程序是仪器整机软件运行的框架,也是所有软件程序得以执行的入口。在这里完成系统参数的设置和外部各个功能模块的初始化。对于非实时操作系统而言,系统主程序中包含一个死循环语句体,这样程序才能在上电复位后得以持续运行。开机以后,系统首先进行输入输出端口、模数转换模块、存储模块、串口通信模块等的初始化设置,然后显示开机画面并打开中断,显示操作界面,随后等待按键产生中断,主程序工作流程图如图 3 所示。

3.2 测量过程流程

测量过程中,首先提示用户将叶片夹好,然后程

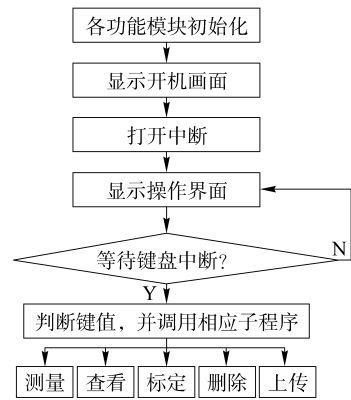


图 3 主程序流程图

Fig. 3 Flow chart of the main program

序控制不同波长的光源(LED)轮流发光,同时对叶片光谱数据进行采集。为了进一步减小误差,每次测量时对数据进行简单的数字滤波,去除奇异数据,并取测量值的平均值。最后,保存数据,并在液晶屏上显示。测量过程如图 4 所示。

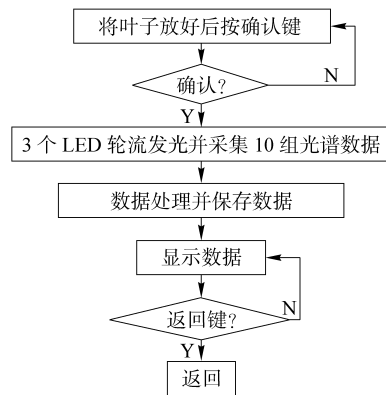


图 4 测量过程流程图

Fig. 4 Flow chart of the measuring process

3.3 上位机软件设计

在 VC++ 6.0 的环境下,利用类 CSerial()实现微机和微控制器之间的数据交换,将微控制器存储的数据上传到 PC 机并以文本格式存储,方便后期数据处理。

4 结束语

设计的便携式叶绿素、氮素、水分一体化测定仪,采用近红外 LED 作为光源,利用集成芯片作为光电检测装置,具有结构简单、操作方便、实用性强、适用范围广的优点。通过对叶片的光谱数据进行分析,筛选了 650 nm、940 nm 和 975 nm 3 个特征波段,可以同时检测出叶片中叶绿素、氮素和水分含量,有效避免了由于叶片位置和测定时间差异导致的作物养分、水分诊断误差。

参 考 文 献

- 1 薛利红,罗卫红,曹卫星,等. 作物水分和氮素光谱诊断研究进展[J]. 遥感学报,2003,7(1):73~80.
Xue Lihong, Luo Weihong, Cao Weixing, et al. Research progress on the water and nitrogen detection using spectral reflectance[J]. Journal of Remote Sensing, 2003,7(1):73~80. (in Chinese)
- 2 吉海彦. 近红外光谱仪器及其在农业中的应用[J]. 仪器仪表学报,2001,22(Z4):355~356.
Ji Haiyan. Near infrared spectroscopy instrument and it's applications in agriculture[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001,22(Z4):355~356. (in Chinese)
- 3 李刚华,丁艳锋,薛利红,等. 利用叶绿素计(SPAD-502)诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. 植物营养和肥料学报,2005,11(3):412~416.
Li Ganghua, Ding Yanfeng, Xue Lihong, et al. Research progress on diagnosis of nitrogen nutrition and fertilization recommendation for rice by use chlorophyll meter[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005,11(3):412~416. (in Chinese)
- 4 宋文冲,胡春胜,程一松,等. 作物氮素营养诊断方法研究进展[J]. 土壤通报,2006,37(2):369~372.
Song Wenchong, Hu Chunsheng, Cheng Yisong, et al. Research advancement on crop nitrogen nutrition diagnosis[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006,37(2):369~372. (in Chinese)
- 5 张卫星,赵致,柏光晓,等. 不同玉米杂交种对水分和氮胁迫的响应及其抗逆性[J]. 中国农业科学,2007,40(7):1361~1370.
Zhang Weixing, Zhao Zhi, Bai Guangxiao, et al. Response on water stress and low nitrogen in different maize hybrid varieties and evaluation for their adversity-resistance[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007,40(7):1361~1370. (in Chinese)
- 6 Minolta Co., Ltd. Manual for chlorophyll meter SPAD-502[R]. Osaka: Minolta Co., Ltd., 1989.
- 7 吴良欢,陶勤南. 水稻叶绿素计诊断追氮法研究[J]. 浙江农业大学学报,1999,25(2):135~138.
Wu Lianghuan, Tao Qinnan. Nitrogen fertilizer application based on the diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1999,25(2):135~138. (in Chinese)
- 8 张金恒,王珂,王人潮. 叶绿素计 SPAD-502 在水稻氮素营养诊断中的应用[J]. 西北农林科技大学学报,2003,31(2):177~180.
Zhang Jinheng, Wang Ke, Wang Renchao. Application of chlorophyll meter SPAD in diagnosis of nitrogen status and nitrogenous fertilizer in rice[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2003,31(2):177~180. (in Chinese)
- 9 Ahmad I S, Reid J F, Noguchi N, et al. Nitrogen sensing for precision agriculture using chlorophyll maps[C]//1999 ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting. Toronto:Sheraton Center,1999.
- 10 刘良云,王纪华,张永江,等. 叶片辐射等效水厚度计算与叶片水分定量反演研究[J]. 遥感学报,2007,11(3):289~295.
Liu Liangyun, Wang Jihua, Zhang Yongjiang, et al. Detection of leaf EWT by calculating REWT from reflectance spectra[J]. Journal of Remote Sensing, 2007,11(3):289~295. (in Chinese)
- 11 沈建华,杨艳琴,翟骁署. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:20~21.
- 12 徐志刚,朱艳,焦学磊,等. 作物氮素营养无损监测仪的光学系统设计[J]. 农业机械学报,2008,39(3):120~122.
Xu Zhigang, Zhu Yan, Jiao Xuelei, et al. Design of optic system for crop nitrogen non-destructive monitoring instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(3):120~122. (in Chinese)
- 13 冯炜,纪奕才,沈绍祥,等. 测试土壤含水率和电导率的时域反射仪系统[J]. 农业机械学报,2009,40(5):59~63.
Feng Wei, Ji Yicai, Shen Shaoxiang, et al. Design of time domain reflectometry for application of soil moisture and bulk electrical conductivity measurements[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(5):59~63. (in Chinese)