

农田土壤 pH 值和电导率采集仪设计与试验^{*}

王凤花¹ 裘正军² 介邓飞¹ 赵华民¹ 张海红¹ 张淑娟¹

(1. 山西农业大学工程技术学院, 太谷 030801; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

【摘要】 设计开发了测量 pH 值和电导率的农田信息采集仪。在探讨该仪器测量原理和软硬件设计的基础上, 分别采用两点校正法和配比 KCl 溶液法对采集仪的 pH 值和电导率测量进行了标定试验, 并在一块黄豆田间隔 14 m×14 m 进行土壤采样, 共采土样 15 个, 对标定方程进行了验证试验。结果表明, 土壤 pH 值标定结果和准确值的相对误差小于 1%, 土壤电导率相对误差小于 14%; 土壤 pH 值标定结果和准确值线性回归模型检验显著性概率为 0.047 8, 决定系数为 0.897 8; 土壤电导率标定结果和准确值线性回归模型检验显著性概率为 0.000 4, 决定系数为 0.971 6, 所建立的 pH 值和电导率标定方程都是可靠的。

关键词: 土壤 pH 值 电导率 采集仪

中图分类号: S126 **文献标识码:** A

Design and Experiment on the Field Information pH Value and Electrical Conductivity Acquisition Instrument

Wang Fenghua¹ Qiu Zhengjun² Jie Dengfei¹ Zhao Huamin¹ Zhang Haihong¹ Zhang Shujuan¹

(1. College of Engineering and Technology, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract

A field information acquisition instrument to measure the soil pH value and electrical conductivity (EC) was designed. Based on the measurement theory and the software and hardware design of the instrument, the calibration test to the acquisition instrument measuring pH value and electrical conductivity by means of two-point and the standard KCl solution was carried out. Then 15 soil samples were taken from a piece of bean field with the sampling interval of 14 m×14 m. The validation test to the calibration equation was carried out. The results showed that the relative error between the calibration result and the accurate value for soil pH value is less than 1%, and the relative error between the calibration result and the accurate value for soil EC is less than 14%, the linear regression model significance probability of the soil pH value calibration results and exact value is 0.047 8, $R^2=0.897 8$, the linear regression model significance probability of the soil EC calibration results and exact value is 0.000 4, $R^2=0.971 6$, it is proved that the calibration equations of the pH value and EC are reliable.

Key words Soil, pH value, Electrical conductivity, Acquisition instrument

引言

目前, 现有的土壤 pH 值和电导率(EC)快速测

定仪器较多^[1~3], 但是其存在的问题有: ①只能测定土壤属性信息, 不能确定其空间位置信息。②只能测量单一属性信息, 不能实现多源信息的统一测

收稿日期: 2008-12-25 修回日期: 2009-02-13

^{*} 山西省科技攻关项目(2007031109-2)

作者简介: 王凤花, 博士生, 主要从事精细农业田间信息采集装备研究, E-mail: wangfenghua018@163.com

通讯作者: 张淑娟, 教授, 博士生导师, 主要从事数字农业关键技术与装备研究, E-mail: zshujuan@263.net

量。为满足精细农业的需要,要求既能测量测点的位置信息,又能测量测点的多种属性信息,才能便于 GIS 平台进行综合处理与分析^[4]。所以,本文开发便携式农田土壤信息采集仪,在介绍该采集仪测量土壤 pH 值和电导率软硬件设计的基础上,分别对该采集仪测量土壤 pH 值和电导率进行标定,并对建立的标定方程进行试验验证,以便确定该采集仪测量土壤 pH 值和电导率的准确性。

1 采集仪设计

1.1 主要结构

农田信息采集仪是以单片机为控制核心,多通道、便携式的田间信息采集装置,可实现田间信息的采集、显示、保存、查询、删除功能及 GPS 定位功能,与上位机软件配套还可实现数据近距离有线传输和远程无线传输。农田信息采集仪结构如图 1 所示。

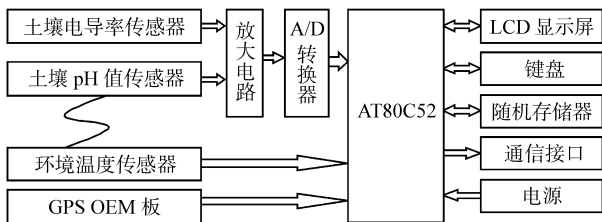


图 1 农田信息采集仪结构框图

Fig. 1 Structure diagram of field information acquisition instrument

1.2 测量原理

1.2.1 土壤 pH 值的测量原理

土壤 pH 值的测量采用电极电位分析法, pH 值电极相当于一个化学电池,根据电化学分析原理,两电极之间的电压差遵循能斯特(Nernst)方程^[4]

$$E = E_0 + k p \quad (1)$$

式中 E ——电极电位

p ——pH 值

E_0 ——标准电极电位

k ——电极转化系数

系统采用高性能 pH 值复合电极 ASP2101,该电极主要特点有:①pH 值测量范围 0~14,温度范围 0~110℃。②响应速度快,稳定性好,抗干扰能力强。③适用于各种污染严重的介质。④使用方便,无需补充电解液,可用于实验室及各类工业场合。

1.2.2 土壤电导率的测量原理

目前,测定土壤电导率主要有 2 种方法:四电极原位测定法和配比溶液测定法。四电极法可直接在农田对土壤进行测定,简单方便,但测量结果受多种因素的影响,不易控制。配比溶液法是将土样过筛

去杂、加蒸馏水配置成(土与水质量比为 1:5)土壤溶液,然后测定溶液的电导率值,其具有较高的测量精度,能更好地反映土壤成分与电导率的关系^[5]。

系统采用配比溶液法电阻分压原理来测量电导率。即采用电导电极测量溶液的电导率,由于电导是电阻的倒数,只要算出电极的电阻就可计算出相应的电导率值^[6]。为了防止极化现象,需采用交流信号源,其频率为 50 Hz,幅值为 5 V。若获取信号源的电压 U_0 和电导电极两端的电压 U_1 ,选取 $R_m = 100 \text{ k}\Omega$,根据电阻分压电路可求出电极两端的电导

$$G = \frac{U_0 - U_1}{R_m U_1} \quad (2)$$

则可计算出所测溶液的电导率

$$\gamma = GK \quad (3)$$

式中 G ——电导, mS

K ——电导常数, cm^{-1}

1.3 软硬件设计

1.3.1 硬件设计

采集仪采用了传感器共用接口技术,土壤 pH 值和电导率传感器共用一个接口 CON4,更换相应的传感器就能实现不同指标的测量,这样大大减小了仪器的体积。其测量电路如图 2 所示。

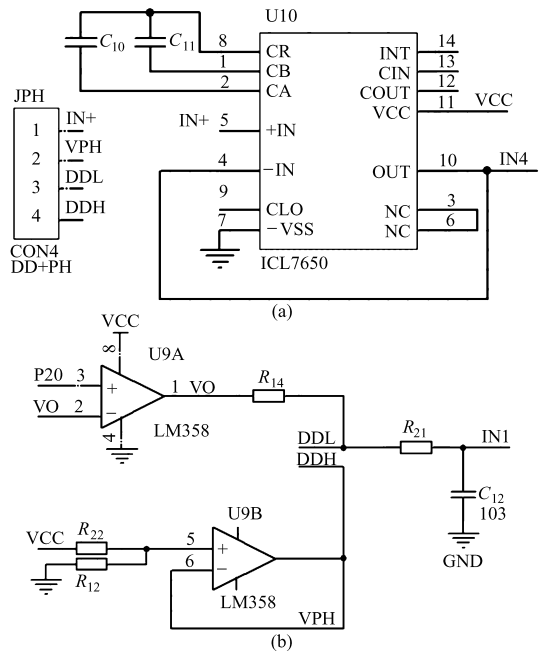


图 2 土壤 pH 值和电导率测量电路图

Fig. 2 Circuit diagram of the soil pH value and EC

(a) pH 值测量 (b) 电导率测量

由于研究中发现 pH 值测量电极具有极高的内阻,放入土壤溶液后, pH 值电极就会产生微小的化学电压,因此系统采用差分的方式输入 ICL7650 斩波稳零式高精度运算放大器,对这个电压信号进行

放大。通过模拟信号输入端 IN4 传入 A/D 转换器 TCL2543 进行 A/D 转换(图 2)。

电导率测量时(图 2),由单片机 P20 口输出定时器产生的 50 Hz 高低电平信号,经过比较器 LM358 转换成 ± 5 V 的交流电压信号,对传感器提供电压。1 k Ω 电阻 R_{12} 、 R_{22} 起分压作用,通过 LM358 比较器跟踪放大可以给 DDH 端提供一个稳定的 2.5 V 电压。200 k Ω 电阻 R_{14} 起分压作用,通过测量 DDL 和 DDH 两端电压变化情况就可以计算出溶液的电阻值,然后经过计算换算成溶液的电导率。

1.3.2 软件设计

当测量土壤 pH 值或电导率时,仪器外接相应的传感器,按下“电源”键,系统开始自检和初始化,然后进入键盘轮检子程序;当“测量”键按下时,系统进入测量状态,启动暂存数组,通过上下翻页键切换到相应测量项目,单片机就会读取暂存数组中 A/D 转换器的返回数值,然后通过计算处理,显示在 LCD 显示屏上。系统测量模块软件设计流程如图 3 所示。

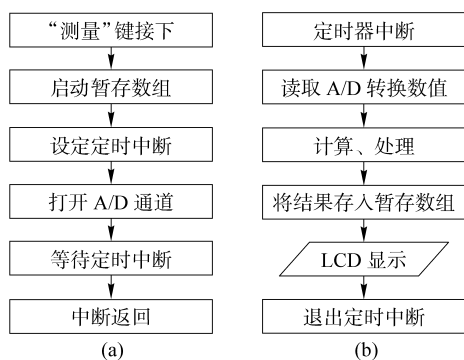


图 3 系统测量模块软件设计流程图

Fig. 3 Software design flow chart of measure module

(a) 测量模块主程序 (b) 定时中断服务程序

2 标定试验

pH 值和电导率标定试验在室内进行,采用 PHS-3C 型酸度计和 DDS-11A 型电导率仪分别对该采集仪的土壤 pH 值和电导率测量值进行标定。

2.1 pH 值标定试验

采用两点校正法来标定采集仪 pH 值测量的准确性。校正测量时,选用 2 种具有标准 pH 值的缓冲溶液,其 pH 值在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时分别为 6.864 和 9.182。用采集仪测量 pH 值 10 次,并取其平均值,测得的电压和 pH 值分别为 $E_{6.864} = 2.507$ V, $p = 6.91$; $E_{9.182} = 2.379$ V, $p = 9.15$ 。代入式(1)可以求出仪器测得的电压和标准 pH 值 V_{pH} 的关系为: $E_x =$

$$2.886 - 0.0552 V_{\text{pH}}$$

2.2 电导率标定试验

由于测量溶液的浓度和温度不同,电导电极常数 K 有时会出现较大的误差,使用一段时间后,电极常数也会有变化,因此电极常数应重新测量标定。但是两电极片间距离和电极片的截面积难以精确测量,一般用标准 KCl 溶液(其电导率在一定温度下是已知的)求出电导常数 K ,计算公式为^[7]

$$K = \frac{\gamma_{\text{KCl}}}{G_{\text{KCl}}} \quad (4)$$

式中 γ_{KCl} ——标准 KCl 溶液的电导率

G_{KCl} ——同一电极在相同条件下实际测得的电导

再根据式(3),在某一温度 t 下测得待测液的电导 G_t 乘以电导常数 K 就是待测液的电导率 γ_t 。

由于溶液的电导率与温度有一定的关系,因此应设法消除或减小温度给电导率测量带来的误差。在测量电导率时要求溶液温度尽可能接近 25 $^{\circ}\text{C}$,并在测量过程中保持稳定。如无法实现溶液温度稳定在 25 $^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$,对测定结果应进行温度校正,其换算公式为^[7]

$$\gamma_{25} = KG_t [1 - (t - 25^{\circ}\text{C}) \times 2\%] \quad (5)$$

式中 γ_{25} ——25 $^{\circ}\text{C}$ 下溶液电导率

G_t ——温度 t 下测得的溶液电导

按照 KCl 溶液的配比方法配比了 3 种浓度 KCl 溶液,分别为 0.1、0.02 和 0.01 mol/L。该 3 种浓度的 KCl 溶液在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时电导率是已知的^[8],选用这 3 种溶液和蒸馏水进行电导率的标定试验。分别用采集仪配上电导率传感器和 DDS-11A 型电导率仪测量并读数。测量 10 次,取平均值,其结果见表 1。

表 1 电导率标定数据

Tab.1 Calibration data of the EC

KCl 溶液浓度 /mol·L ⁻¹	仪器电压值 X/V	温度 t 下测得的电导 $G_{\text{KCl}}/\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$	25 $^{\circ}\text{C}$ 电导率准确值 $\gamma_{\text{KCl}}/\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$
0.10	0.485	5.50	12.88
0.02	0.296	1.83	2.77
0.01	0.253	1.00	1.41
蒸馏水	0.196	0.01	0

根据式(4)、(5),对每种 KCl 溶液进行温度校正,且计算其电极的电导常数。室内温度 t 为 15 $^{\circ}\text{C}$,求平均值得该电极测试仪的电导常数 K 为 1.46 cm^{-1} 。然后对采集仪测得的电压值和电导率准确值进行相关性分析,如图 4 所示,回归方程为 $y = 19.126x - 3.7965$,决定系数 $R^2 = 0.9996$ 。由此可以看出,采集仪测得电压和电导率值呈线性关系,且相关度很高。

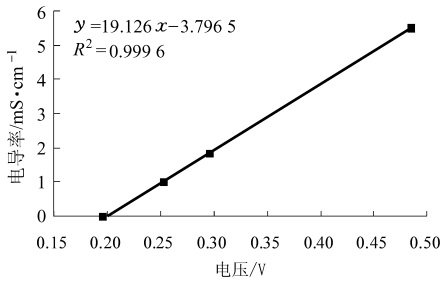


图4 测得电压值和电导率准确值的相关性

Fig.4 Relativity between the measuring voltage and EC accurate value

3 验证试验

为了验证 pH 值和电导率测量标定试验的准确性,于 2008 年 7 月 12 日上午,选取一块黄豆地,用 DGPS 差分定位导航,以 14 m×14 m 栅格采样,在土壤表层(0~15 cm)取 15 个土样以测量土壤溶液

pH 值和电导率。考虑到该采集仪能进行田间现场测量,试验方案对传统实验室方法做了改进,具体方法是:把 15 个土样捻碎、过筛去杂质,各称取 10 g,边搅拌边加蒸馏水至 50 mL 来配比(土与水质量比为 1:5)土壤溶液。每个样品搅拌 1 min 后直接测量土壤溶液的 pH 值和电导率。该试验方案简化了试验步骤,缩短了时间,适于田间现场进行。

用以上方法配比好土壤溶液后,先用该采集仪和 PHS-3C 型酸度计分别测量各个样品的 pH 值,记录采集仪输出的 pH 值、电压值和 PHS-3C 型酸度计测量值。再用该采集仪和 DDS-11A 型电导率仪分别测量各个样品的土壤电导率值。记录采集仪的输出电压值和 DDS-11A 型电导率仪的测量值。最后通过所得的 pH 值和电导率标定方程对其测量值进行标定。土壤溶液 pH 值和电导率标定结果如表 2 所示。

表 2 土壤 pH 值和电导率标定结果

Tab.2 Calibration results of the soil pH value and EC

序号	土壤 pH 值				土壤电导率			
	pH 值准确值	标定结果	绝对误差	相对误差 /%	电导率准确值 /mS·cm ⁻¹	标定结果 /mS·cm ⁻¹	绝对误差 /mS·cm ⁻¹	相对误差 /%
1	8.42	8.458	0.038	0.455	0.161	0.182	0.021	13.143
2	8.53	8.549	0.019	0.221	0.175	0.182	0.007	3.715
3	8.37	8.368	-0.002	-0.026	0.365	0.335	-0.030	-8.297
4	8.45	8.513	0.063	0.741	0.204	0.220	0.016	7.613
5	8.42	8.476	0.056	0.670	0.336	0.316	-0.020	-6.018
6	8.66	8.694	0.034	0.390	0.146	0.143	-0.003	-1.742
7	8.65	8.603	-0.047	-0.541	0.161	0.182	0.021	13.143
8	8.66	8.603	-0.057	-0.656	0.175	0.182	0.007	3.715
9	8.64	8.712	0.072	0.832	0.219	0.239	0.020	9.172
10	8.66	8.639	-0.021	-0.238	0.146	0.163	0.017	11.358
11	8.67	8.712	0.042	0.483	0.190	0.201	0.011	5.813
12	8.64	8.621	-0.019	-0.216	0.263	0.258	-0.005	-1.746
13	8.71	8.712	0.002	0.021	0.190	0.182	-0.008	-4.263
14	8.62	8.603	-0.017	-0.195	0.219	0.201	-0.018	-8.295
15	8.64	8.567	-0.073	-0.845	0.190	0.201	0.011	5.813
平均值	8.58	8.589	0.010	0.435	0.209	0.212	0.003	6.923

由表 2 可以看出,测得土壤 pH 值标定结果和准确值的平均值分别为 8.589 和 8.580,绝对误差最大值为 -0.073,绝对误差平均值为 0.010,相对误差小于 1%,且相对误差绝对值的平均值为 0.435%;测得土壤电导率标定结果和准确值的平均值分别为 0.212 mS/cm 和 0.209 mS/cm,绝对误差最大值为 0.030 mS/cm,绝对误差平均值为 0.003 mS/cm,相对误差小于 14%,且相对误差绝对值的平均值为 6.923%。

用 SAS 软件对土壤 pH 值和电导率的标定结果和准确值分别进行了一元线性回归,相关程度估计

结果如表 3、4 所示。

由表 3、4 可见,土壤 pH 值标定结果和准确值线性回归模型检验显著性概率为 0.0478,决定系数为 0.8978;土壤电导率标定结果和准确值线性回归

表 3 土壤 pH 值回归模型的方差分析

Tab.3 Variance analysis of the soil pH value

regression model					
方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	尾概率
模型	9	0.132	0.015	4.88	0.0478
残差	5	0.015	0.003		
总和	14	0.147			R ² =0.8978

表4 土壤电导率回归模型的方差分析

Tab.4 Variance analysis of the soil EC regression model

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	尾概率
模型	8	0.040	0.004	25.68	0.000 4
残差	6	0.001	0.000		
总和	14	0.041			$R^2=0.971 6$

模型检验显著性概率为 0.000 4, 决定系数为 0.971 6, 说明两者相关度很高, 也说明所建立的 pH 值和电导率标定方程都是可靠的。

从以上分析结果可以看出, 该农田信息采集仪对土壤 pH 值和土壤电导率的测量精度是较高的, 能够反映该块地的土壤 pH 值和电导率值, 满足精细农业的测量要求。

4 结论

(1) 设计了可以完成土壤 pH 值、电导率及 GPS

位置信息集成测量的农田信息采集仪, 对该采集仪 pH 值、电导率测量的精度进行了标定试验, 得出了 pH 值和电导率测量的标定方程。

(2) 对土壤 pH 值和电导率测量的标定方程准确性进行验证试验。结果表明, 土壤 pH 值标定结果和准确值的相对误差小于 1%, 且相对误差绝对值的平均值为 0.435%; 土壤电导率标定结果和准确值的相对误差小于 14%, 且相对误差绝对值的平均值为 6.923%。

(3) 对土壤 pH 值和电导率的标定结果和准确值分别进行了一元线性回归分析, 土壤 pH 值标定结果和准确值线性回归模型检验显著性概率为 0.047 8, 决定系数为 0.897 8; 土壤电导率标定结果和准确值线性回归模型检验显著性概率为 0.000 4, 决定系数为 0.971 6。说明所建立的 pH 值和电导率标定方程都是可靠的。

参 考 文 献

- 1 李民赞, 王琦, 汪懋华. 一种土壤电导率实时分析仪的试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 51~55.
Li Minzan, Wang Qi, Wang Maohua. Testing and modeling of soil EC sensor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 51~55. (in Chinese)
- 2 荆淼, 李伟, 庄峙厦, 等. 光纤化学 pH 传感技术的现状和进展[J]. 传感技术学报, 2002, 15(3): 263~267.
Jing Miao, Li Wei, Zhuang Zhixia, et al. Recent development and applications of optical and fiber-optic pH sensors[J]. Journal of Transduction Technology, 2002, 15(3): 263~267. (in Chinese)
- 3 杨百勤, 杜宝中, 李向阳, 等. 全固态复合 pH 传感器的研制与应用[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(10): 181~183, 188.
Yang Baiqin, Du Baozhong, Li Xiangyang, et al. Research of all-solid combination pH sensor and its application[J]. Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forestry, 2006, 34(10): 181~183, 188. (in Chinese)
- 4 裘正军, 宋海燕, 何勇, 等. 基于虚拟仪器的农田信息采集与处理系统[J]. 浙江大学学报, 2006, 40(11): 1931~1936.
Qiu Zhengjun, Song Haiyan, He Yong, et al. Farm field information collection and processing system based on virtual instrument[J]. Journal of Zhejiang University, 2006, 40(11): 1931~1936. (in Chinese)
- 5 Corwin D L, Lesch S M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 46(1~3): 11~43.
- 6 李军, 李赋海. 检测技术及仪表[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 89~100.
- 7 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 183~187.
- 8 赵春江. 数字农业信息标准研究——作物篇[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 123~124.