

# 新型蔬菜种子水分快速测定仪的研究\*

滕召胜 叶传剑 王大故  
(国防科技大学) (湖南省怀化市种子公司)

**摘要** 水分快速测定是蔬菜种子行业亟待解决的问题。该文在研究蔬菜种子的阻抗—频率特性和阻抗—水分特性的基础上,发现了蔬菜种子在无线电频段内的导电浴盆效应,提出了一种新的蔬菜种子水分快速测定方法,设计了宜于蔬菜种子水分快速检测的撮铲式水分测定仪器。实际应用表明,仪器的测量范围5%~20%,测量误差0.5%,重复性优于0.2%,可满足蔬菜种子的水分检测要求。

**关键词** 蔬菜种子 水分快速测定 阻抗 导电浴盆效应

蔬菜种子中的水分是其籽粒细胞的必要组成部分,是维持籽粒本身生命活动所必须的物质成分。水分含量过低,破坏了种子的有机质;水分含量过高,促使种子的生命活动旺盛,容易引起发热、霉变、生虫和其它生化变化,致使种坏。因此,水分含量是蔬菜种子安全储存的主要依据,也是蔬菜种子商业环节(如收购、贸易)中以质论价的依据。随着农业科技的发展,种子对蔬菜生产的影响越来越大,蔬菜种子的科技含量越来越高,因而价格也越来越贵,甚至达每千克上千元。

蔬菜种子的水分检测的标准方法是烘干失重法。但由于烘干失重法测量时间长,损耗样品,且只能在实验室使用,过去蔬菜种子现场水分检测一般依靠手搓嘴咬凭经验判断,误差很大,极不可靠。测量手段的不完善致使大量的蔬菜种子在储存、运输过程中霉烂变质,造成巨额损失。近年来,蔬菜种子生产、经营、储存和管理部门纷纷呼吁尽快研制蔬菜种子水分快速测定仪。

为此,作者研究了蔬菜种子在无线电频率范围内的导电特性,发现了蔬菜种子的导电浴盆效应,提出了一种新的水分快速检测方法,据此研制的智能撮铲式水分快速测定仪,可以对极少量蔬菜种子进行现场水分快速测定,其测量误差0.5%,重复性优于0.2%,一次测量时间只需1~2秒。

## 1 蔬菜种子的导电特性

### 1.1 蔬菜种子的交流导电理论分析

为便于少量样品的测量,取样传感器做成撮铲状,两个金属电极置于撮铲底平面,分别作为标准信号发送电极和测量信号接收电极。

蔬菜种子的导电离子与水分含量成正比。在外施交变电场的作用下,蔬菜种子会产生下列导电电流<sup>[1]</sup>:

收稿日期: 1998-11-09

\* 国家火炬计划项目, 国家博士后基金资助项目

滕召胜, 博士, 教授, 长沙市 国防科技大学ATR 国家重点实验室, 410073

1) 吸收电流  $\dot{I}_a$ : 蔬菜种子在外施电场激励下发生松弛极化而产生的电流; 2) 电导电流  $\dot{I}_R$ : 因蔬菜种子体积阻抗而产生的电流; 3) 充电电流  $\dot{I}_d$ : 包括真空位移电流和瞬时位移极化电流, 它取决于被试蔬菜种子的几何尺寸、形状和成份。4) 表面电流  $\dot{I}_s$ : 因蔬菜种子表面阻抗而产生的电流。电极间施加正弦交变激励电场  $e(t) = E e^{j\omega t}$ , 通过电极间蔬菜种子的电流  $\dot{I}_x$  为<sup>[11]</sup>

$$\begin{aligned} \dot{I}_x &= \dot{I}_a + \dot{I}_R + \dot{I}_d + \dot{I}_s \\ &= \left( \gamma + \frac{\omega^2 \tau B}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c E e^{j\omega t} + j\omega \epsilon_0 \left( \epsilon + \frac{\epsilon' - \epsilon}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c E e^{j\omega t} + d G_s E e^{j\omega t} \\ &= \left[ \left( \gamma + \frac{\omega^2 \tau B}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c + d G_s \right] E e^{j\omega t} + j\omega \epsilon_0 \left( \omega + \frac{\epsilon' - \epsilon}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c E e^{j\omega t} \end{aligned} \quad (1)$$

式中  $\gamma$ ——蔬菜种子的离子电导率;  $\omega$ ——外施电场的频率;  $\tau$ ——松弛时间;  $B = \frac{\epsilon_0(\epsilon' - \epsilon)}{\tau}$ ;  $\epsilon_0$ ——真空介电常数;  $\epsilon$ ——蔬菜种子的光频相对介电常数, 相应于瞬时位移极化的相对介电常数;  $\epsilon'$ ——蔬菜种子的静态(恒定电场下)相对介电常数;  $K_c$ ——常数;  $d$ ——电极的间距;  $G_s$ ——蔬菜种子的表面电导。

可见, 交变电场激励下, 蔬菜种子中的电流  $\dot{I}_x$  有二个分量, 实部分量与外施电场同相, 虚部分量领先外施电场  $90^\circ$ 。前一个电流分量吸收能量, 后一个电流分量不产生任何能耗。令

$$\dot{I}_p = \left[ \left( \gamma + \frac{\omega^2 \tau B}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c + d G_s \right] E = (\gamma + g) K_c E + d G_s E \quad (2)$$

$$\dot{I}_q = \omega \epsilon_0 \left( \epsilon + \frac{\epsilon' - \epsilon}{1 + \omega^2 \tau^2} \right) K_c E = \omega \epsilon_0 K_c E \quad (3)$$

则

$$\dot{I} = \dot{I}_p e^{j\omega t} + j \dot{I}_q e^{j\omega t} \quad (4)$$

$$g = \frac{\epsilon_0(\epsilon' - \epsilon)\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (5)$$

$$\epsilon = \epsilon + \frac{\epsilon' - \epsilon}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (6)$$

式中,  $I_p$ ——正弦交变电场下蔬菜种子总电流的有功分量有效值;  $I_q$ ——无功分量有效值;  $g$ ——蔬菜种子松弛极化损耗的等效电导率;  $\epsilon$ ——蔬菜种子的动态相对介电常数, 它是蔬菜种子作为介质在外施电场激励下存在位移极化和松弛极化的结果, 其中,  $\epsilon$  是位移极化的贡献, 与试料的品种和水分含量有关, 而与外施电场的频率、试料的温度等因素无关;  $\frac{\epsilon' - \epsilon}{1 + \omega^2 \tau^2}$  是松弛极化的贡献, 与品种、水分、频率、温度等因素均相关。

对于无线电频率范围内的激励信号, 蔬菜种子松弛极化建立的时间较长 ( $> 10^{-8} s$ )<sup>[12]</sup>, 它包含转向极化、热离子极化和界面极化等非线性影响, 此时蔬菜种子导电特性的影响因素也非常复杂。研究蔬菜种子的阻抗—频率特性可以量化蔬菜种子的导电性能。

## 2.2 蔬菜种子的阻抗—频率特性

大量试验表明, 对蔬菜种子试料在无线电频域内施加幅值不变的各种频率信号, 其导电能力随外施激励电场频率的变化而变化。图 1 为蔬菜种子的阻抗—频率特性曲线, 试料为丝瓜种子和白菜种子。茄子种子、苦瓜种子等其它蔬菜种子均有类似特性。

由图 1 可见: 种子的阻抗—频率有以下特性: 1) 当激励信号的频率较低时, 种子的阻抗随频率增加急剧降低; 在某一频带, 阻抗值最小, 随频率的变化极小; 之后, 随着频率的再升高, 阻抗值随之缓慢增加。在无线电频率范围内, 种子的阻抗—频率关系呈浴盆曲线状, 本文称之为蔬菜种子的导电浴盆效应。2) 试料的品种不同, 浴盆效应的边沿频率不同, 但各种蔬菜

种子在 150 kHz ~ 250 kHz 频率范围内基本呈最小阻抗状态。施加这一频带的激励信号, 蔬菜种子水分有最灵敏的反应。这一频带为蔬菜种子水分敏感频带。3) 蔬菜种子的阻抗与籽粒结构有关, 籽粒有壳体的种子阻抗较大。丝瓜种子有纤维素和矿物质构成的结构坚硬、高度木质化的壳体, 因而阻抗值较大。白菜种子有纤维素和半纤维素组成的皮层, 其阻抗值较丝瓜种子小。

### 2 3 种子的阻抗—水分特性

图 2 是依据蔬菜种子导电浴盆效应, 通过大量试验测量出的蔬菜种子的阻抗含量与其水分的关系曲线, 试料为豌豆种子。其它蔬菜种子试料的阻抗—水分特性与豌豆种子类似。

由图 2 可见, 种子的阻抗—水分有以下特性:

1) 种子在主要水分含量范围 (5 % ~ 15 %), 其阻抗—水分特性基本呈对数关系

$$Z = \alpha + \log_b x \tag{7}$$

式中  $\alpha, b$  均为常数, 且  $0 < b < 1$ 。

2) 阻抗—水分特性受温度影响较大。同一试样, 温度越高, 阻抗越小。在常温 (0~ 40 ) 条件下, 温度每升高 1 , 对阻抗的影响相当于种子的水分增加了 0.1 % , 即 0.1 % / 。

3) 当水分含量较高 (> 30 % ) 时, 种子的阻抗趋于自由水阻抗, 此时的蔬菜种子的导电特性基本取决于水的导电特性。

### 2 4 蔬菜种子的水分快速检测原理

由式 (1) 有

$$x = b^{z-a} \tag{8}$$

即蔬菜种子的水分含量与其阻抗的一一对应关系。施加蔬菜种子水分敏感频带的交变激励信号, 通过测量由蔬菜种子试料阻抗  $Z$  决定的导通电流, 便可经单片机进行数据处理, 得出被测蔬菜种子的水分含量。

### 3 仪器的构成

依据上述测量原理, 作者设计了一种新型现场水分快速测定仪—智能撮铲式蔬菜种子水分快速测定仪。仪器为便携式结构, 撮铲取样, 液晶显示, 干电池供电, 单片机进行数据处理, 具有较强的智能功能。

图 3 是仪器的原理框图。由图可见, 仪器由信号发生器、撮铲传感器、放大电路、整流滤波、线性化电路、温度补偿及 A/D 转换、CPU、LCD 显示、操作键构成的单片机系统组成。

#### 3 1 传感器与仪器外形结构

蔬菜种子水分检测通常是对极少量样品的检测, 将传感器设计成撮铲状有利于对种子的直接取样, 避免操作者直接接触样品造成附加误差, 保证 10 g 以上的蔬菜种子即可取样测量。

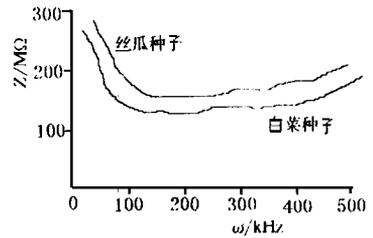


图 1 蔬菜种子的阻抗—频率特性

Fig 1 The characteristics of impedance - frequency of vegetable seeds

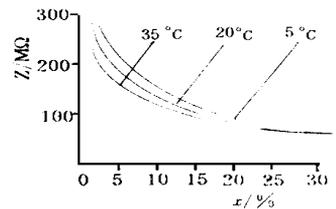


图 2 蔬菜种子的阻抗—水分特性

Fig 2 The characteristics of impedance- moisture of vegetable seeds

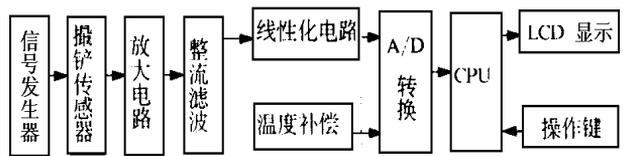


图 3 仪器的原理框图

Fig 3 Principle of the instrument

敏感电极(即标准信号发送电极和测量信号接收电极)置于撮铲底部可以有效地避免种子的紧实度对测量准确性的影响。同时,采用撮铲取样可以防止测量过程中的样品损坏。

图 4 为仪器的外形结构。

### 3.2 线性化电路

线性化电路是根据水分检测信号的非线性而设计的,其核心为对数放大器。线性化电路输出的是与被测种子的水分含量成正比的线性电压信号。

### 3.3 温度补偿

温度补偿是在仪器的信号通道加入负温度系数半导体 PN 结器件,利用半导体 PN 结在- 100~ + 100 范围内的良好线性,通过比例电路,实现温度对蔬菜种子阻抗影响的自动补偿。

### 3.4 单片机系统

单片机系统是仪器的关键部件,它完成仪器的 A/D 转换、信号分析处理、信息显示以及其它智能功能。智能撮铲式蔬菜种子水分快速测定仪采用了内部带有 4 路 8 位 A/D 转换器、1024 × 14 位程序存储器、4 个中断源的低功耗单片机 PIC16C71<sup>[3]</sup>。它具有低功耗睡眠(SLEEP)模式和片内看门狗定时器(WDT),易于实现抗干扰设计。

为简化硬件电路、降低功耗,仪器只设有一个操作键,通过软件管理,用单键完成测量基准值调节、复位、采样等控制命令,使单键成为多义键。软件采用模块化结构,有操作键管理、A/D 转换、测量数据处理、显示等子程序。通过软件管理,使仪器工作在“基准调节”与“测量”两种状态。在“基准调节”状态,每按一次操作键,可使仪器显示的测量基准值自动增加 0.1,直至需要设定的基准值;在“测量”状态,按操作键为测量采样命令。为避免蔬菜种子的品种因素与品质因素的影响,对不同的品种应选择不同的测量基准值。因此,仪器在开机后首先进行基准值设定。仪器设有中英文界面提示,可大大减少了用户在使用过程中的误操作,增强了仪器的现场实用性。

## 4 仪器的计量性能

对十字花科、茄科、伞形花科、瓜类、豆类等蔬菜种子的 23 种不同试料在环境温度 0~ 40 条件下的反复试验表明:与烘干失重法相比,仪器的测量误差 0.5%,测量重复性优于 0.2%。表 1 为几种种子的水分检测结果,每种种子均有 2 种水分含量不同的试验样品。

表 1 蔬菜种子水分测量结果

Tab 1 Results of measuring moisture content of vegetable seeds %

测量品种	豌豆种子		萝卜种子		辣椒种子		南瓜种子		胡萝卜种子		西瓜种子	
仪器测量结果	8.6	12.7	8.0	10.2	8.4	12.6	7.7	13.7	7.6	11.9	8.3	9.7
烘干法测量结果	8.7	12.5	7.8	10.1	8.3	12.4	7.6	13.9	7.3	11.7	8.5	9.5
误差	- 0.1	+ 0.2	+ 0.2	+ 0.1	+ 0.1	+ 0.2	+ 0.1	- 0.2	+ 0.3	+ 0.2	- 0.2	+ 0.2

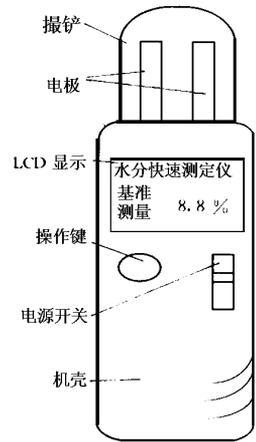


图 4 仪器外形  
Fig 4 Appearance of the instrument

## 5 结束语

智能撮铲式蔬菜种子水分快速测定仪小巧轻便,操作简单,测量准确,利于少量样品的检

测,解决了长期以来蔬菜种子的水分快速、准确测量问题。40多家用户使用后给予了一致好评,可望在蔬菜种子行业推广使用。

#### 参 考 文 献

- 1 滕召胜 水分检测技术及其智能信息处理方法的研究 [博士学位论文]长沙:湖南大学,1998 20~ 26
- 2 Dwyer O. The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics Charendon Press, 1973 46
- 3 PIC16C7× DATA SHEET. Microchip Technology Inc 1995 3~ 17

## New Instrument for Quick Measuring Moisture Content of Vegetable Seeds

Teng Zhaosheng

(National University of Defence Technology, Changsha)

Ye Chuanjian Wang Dagu

(Huaihua Seeds Company of Hunan Province)

**Abstract** It is a key technology to measure the moisture content quickly and accurately for vegetable seed industry. The characteristics and relationships between impedance- frequency and impedance- moisture of the vegetable seeds were studied. The electric conductivity bathtub effect was found out throughout the radio frequency range. The paper presented a new method and designed a new instrument to measure moisture content of vegetable seeds. The experimental results showed that the measuring range of the instrument is 5% ~ 20%, the accuracy is higher than 0.5%, and the uniformity is better than 0.2%. It can meet the demands for measuring moisture content of vegetable seeds.

**Key words** vegetable seeds, quick measurement of moisture content, impedance, electric conductivity bathtub effect