

- 2 [日]微生物研究法讨论会. 微生物学实验法. 北京. 科学出版社. 1981, 326.
- 3 刘春光. 香辛调料的应用现状及存在问题. 中国调味品. 1991, (1): 3~7.
- 4 郭爱莲. 某些防腐剂及其保护作用. 食品科学. 1994, (4): 14.
- 5 天津轻工业学院食品工业教研室. 食品添加剂. 北京. 轻工业出版社. 1978, 24~29.

食品的电特性及其应用 (2)

——谷物的电特性及其应用

董怡为 江苏省农机鉴定站 210017

许多科学家很早就开始了谷物电特性的研究,并开始其应用。早在 1880 年美国入奥斯本就研制成功了世界上第一台静电分离机,用之去除面粉中的谷壳和杂质,提高面粉质量。在 50 年代到 70 年代之间,谷物的电特性研究达到了一个高潮,发表了许多论文,研制了许多仪器,推动了食品工业的发展,也为我们今后的研究奠定了基础。

1 谷物的电特性

谷物的电特性主要包括电阻特性和电容特性。其主要与含水率,品种和测试频率等因素有关。我们知道干燥状态下的谷物,像电介质一样,其电阻值高达 $10^8\Omega$ 以上,而潮湿时,却像导体或者半导体一样。这就决定了谷物即有电阻性又有电容性。从谷物的结构和生物膜的电特性研究成果可知,RC 并联电路是公认的谷物等效电路。

谷物的电阻特性及电容特性研究通常是采

用交流电测定法测定谷物的电阻率和介电常数,因为这两个参数的实用价值较大。交流电测量法的工作原理见图 1。首先,由信号发生器将交流电信号输入 AC 端,并用频率计测量输入信号的频率,然后,用真空管毫伏表同时测量出输入端电压 U_{AC} 和标准电阻 R_H 上的电压降 U_{BC} ,再用相位计测量出 U_{AC} 与 U_{BC} 的相位差 Q 。电学和矢量知识告诉我们: $\vec{U}_{AC} = \vec{U}_{AB} + \vec{U}_{BC}$, $\vec{I}_H = \vec{I}_R + \vec{I}_C$ 。利用有关数学知识,可分别求得

$$R = \frac{R_H \sqrt{U_{AC}^2 + U_{BC}^2 - 2U_{AC}U_{BC}\cos\theta}}{U_{BC}\cos(\theta + \delta)} \quad (1)$$

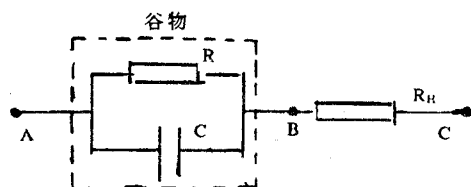
$$C = \frac{U_{BC}\sin(\theta + \delta)}{2\pi f R_H \sqrt{U_{AC}^2 + U_{BC}^2 - 2U_{AC}U_{BC}\cos\theta}} \quad (2)$$

$$\delta = \arcsin \frac{U_{BC}\sin\theta}{\sqrt{U_{AC}^2 + U_{BC}^2 - 2U_{AC}U_{BC}\cos\theta}} \quad (3)$$

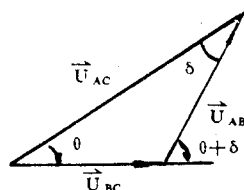
式中, R : 谷物的电阻, Ω ;

C : 谷物的电容, F ;

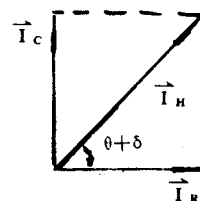
δ : 谷物的介电损耗角;



(a)



(b)



(c)

图 1 测量原理图

f: 测试频率, Hz。

经转换, 式 (1) ~ (3) 分别变成:

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (4)$$

$$\epsilon = \frac{CL}{\epsilon_0 S} \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 f \rho} \quad (6)$$

式中, ρ : 电阻率, $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$;

ϵ : 介电常数;

$\operatorname{tg} \delta$: 介电损耗正切;

s: 测量容器截面面积, mm^2 ;

L: 电极之间距离, m。

谷物的电阻率主要与其含水率和测试频率有关。谷物的电阻率与其含水率一般存在着如下的关系^[1]

$$\ln \rho = -a_\omega \omega + C_\omega \quad (7)$$

式中, a_ω 、 C_ω 分别为实验常数。它由被测谷物的品种、容重、测试频率, 环境的温度和湿度等因素所决定, 其值由实验确定。式 (7) 表明, 谷物的电阻率随其含水率的增加以指数形式减少。这是因为谷物作为生命体, 在其运输、贮存等过程中, 仍保持一定的生命活动。当谷物的含水率很低时, 其细胞中的原生质呈凝胶状态, 细胞内的离子运动十分缓慢, 生命体的生理活动极其微弱。此时, 细胞的电阻很大, 谷物的宏观电阻率也就很大。随着谷物含水率的增加, 谷物吸收大量的水分, 细胞水势急剧上升。在水的作用下, 其代谢开始进行或者加快, 其中, 包括酶的活化与重新合成。细胞中的离子运动迅速增大, 从而, 降低了细胞的电阻, 谷物的宏观电阻率也随之迅速下降。

据钱新耀的测定^[2], 谷物的电阻率与测试频率之间存在着如下的关系

$$\ln \rho = \frac{a_f}{f} + C_f \quad (8)$$

式中, a_f 、 C_f 分别为实验常数。笔者认为谷物的电阻率与测试频率之间有式 (8) 关系的原因在于, 测试频率增大时, 谷物中的大分子取向极化能力减弱, 这就造成了谷物电阻率的下降。此外, 谷物的电阻率还与温度有关, 通常温度上升, 谷物的电阻率也上升。

谷物的介电常数通常是在散粒集合条件下测定的。用一特制的电容器与交流电测定法的仪器可以一次性测出谷物的电阻率、介电常数和损耗正切。谷物的介电常数, 除与其含水率有关之外, 还与测试频率, 谷物的品种, 容重等因素有关。因此, 目前尚难找出一个统一的表示形式。但是, 一般认为介电常数是一个复数, 可表示为 $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ 。美国著名学者 S. O. Nelson 提出^[3], 小麦容重在 $0.6 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ 范围之内, 容重与介电常数的关系可用下式表示

$$\epsilon = [1 + n(\rho^*)]^3 \quad (9)$$

$$\epsilon'' = c_1 \rho^{*2} + c_2 \rho^* \quad (10)$$

其中, ρ^* : 小麦的容重, g/cm^3 ;

$n(\rho^*)$: 容重的函数;

c_1 、 c_2 : 实验常数。

S. O. Nelson 还提出小麦的一个半经验公式^[4]:

$$\epsilon = [1 + (0.4034 + 0.0434\omega + 0.0265 \ln f - 0.0072\omega \ln f) \rho^*]^3 \quad (11)$$

$$\epsilon'' = (-3.193 + 0.243 \ln f + 0.403\omega - 0.027\omega \ln f) \rho^* \quad (12)$$

我们必须明白, 谷物的含水率是影响其介电常数的主要原因。所以, 笔者对一些谷物进行了含水率与介电常数关系的研究。与传统的交流电测量法所不同的是笔者对单粒谷物进行测量, 而非散粒集合态测量。采用 CCJ-1C 型精密电容测量仪和特制电容器对谷物进行测定, 测试频率为 1000 Hz。测量结果表明, 谷物的介电常数与其含水率之间存在着如下的关系^[5]

$$\epsilon = 1 + \exp(a_\epsilon \omega + b_\epsilon) \quad (13)$$

其中, a_ϵ 、 b_ϵ : 实验常数。

由式 (13) 可以看出, 谷物的介电常数在其含水率较低时, 曲线变化较为平坦; 随着其含水率的增大, 该变化加剧, 曲线变得较陡。其原因是当谷物的含水率较低时, 谷物中的细胞处于休眠状态, 原生质呈凝胶状态, 这时, 导电离子和水分子多以结合态存在, 这导致了水分对谷物介电常数的影响较小。此时的介电常数与其干态值十分接近。然而, 随着谷物含水率的增加, 一方面, 谷物由于吸收了水分, 使其

中细胞的原生质溶解,细胞膨胀,体积扩大,代谢速率增加,而使谷物的介电常数增加;另一方面,由于水的介电常数远大于干态谷物的介电常数,水的介电常数一般在79~81之间,所以随着谷物含水率的增加,谷物的贮能能力也随之增加,即介电常数也增加。但是,必须指出,谷物的介电常数随其含水率的增加而增加,这并非无限的,它同谷物的生理过程有着十分密切的关系。

钱新耀用交流电测量法,对一些散粒集合状态的谷物进行了介电常数测量^[2]。得出的结果与式(13)完全相同。

2 谷物电特性的应用

谷物的电特性在一些领域中早有广泛地应用。首先是谷物的含水率快速测定仪,从式(7)和式(13),我们看到谷物的含水率和其电阻率及介电常数均存在着指数函数关系。Brockelsby 于1951年就介绍了一种直流电阻型温度计^[6]。1960年,Zeleny 撰文介绍利用谷物电特性的湿度计的一般原理,并说明了电阻型、电容型湿度计的差异^[7]。Matthews 详细地讨论了各种因素对电容型湿度计精度的影响,并提出了设计要求^[8]。1963年,美国农业部谷物检验研究所就认可了一种电阻型谷物湿度计和两种电容型谷物湿度计。现在,国外有许多公司生产谷物水分快速测量仪,它大大地方便了谷物的收购、贮藏和运输。目前,我国的一些粮库已有使用。

电力分选机是谷物电特性应用的另一例。电力分选机有4种形式,纯静电型,电晕放电型,复合型及线圈型,见图2。纯静电型电力分选机是利用谷物电特性的差异而引起的极化带电量的不同达到分选目的的。笔者在研究静电场中谷物极化带电中发现,优质谷物的带电量比劣质谷物的带电量少^[6]。电晕放电型电力分选机是通过放电器向谷物充电,利用谷物电特性的差异而产生的充电带电量的多少达到分选目的的。复合型电力分选机则是结合上述两种方法而形成的一种新型电力分选机。线圈型电力分选机是将二根有高度绝缘外层的电线平行地绕在一圆滚上充当两极,利用谷物之间电场力的差异完成分选的。线圈型电力分选机在前苏联地区研究和应用得比较广泛,而其它3种电力分选机则在日本和美国有商品机型出售。我国的一些大专院校和研究所也早有研究,但是,至今尚未见有商品机型。电力分选机是一种较为理想的谷物清选分级机械。与机械式分选机械相比,它有许多的优点。第一,由于它是按谷物内部品质分级,所以,可以更好地保证分选质量;第二,它的分选范围较大,调整方便;第三,它的能耗较小,可以降低谷物的分级成本;第四,其工作噪音低,不污染环境;第五,它不损伤谷物,可减少分选加工过程中的损耗。电力分选机在啤酒工业中也有用武之地。利用它选出的大麦可以制成优质的啤酒,提高啤酒的质量。

利用谷物电特性的谷物含水率测量装置还

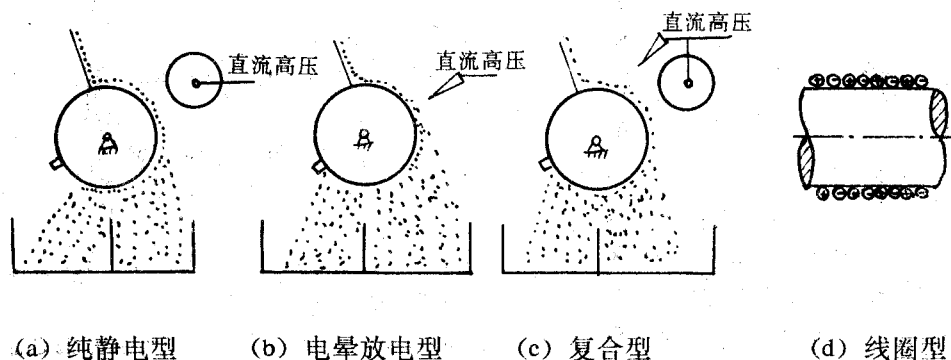


图2 电力分选机的四种形式

可用于谷物干燥机的温度控制以及磨粉加工过程中向谷物加入水量的控制。Butcher^[9]介绍了自动揉合小麦机的控制系统。通常使用的电子水分测量仪的显示值多受谷物中水分的分布影响,所以,在用加水的方法揉合谷物时,必须采用对谷物表面湿度不是特别敏感的方法,以免误将谷物表面湿度作为谷物湿度。Butcher在该控制系统中采用了谷物的微波衰减测定法,这样便能更好地测量谷物的水分,而不是表面湿度。Butcher还发现,小麦的微波衰减与温度有关,但是,干小麦与新鲜的湿小麦之间的衰减差与温度无关,而且,该衰减差与增加的水分呈线性关系。但是,不同品种的小麦有不同的直线。利用谷物电特性的谷物含水率测量装置还有其它许多用途。Holaday^[10]使用一台直流电阻型测量仪和一台电容型测量仪,取得了一种谷物湿度分布的测定方法,并成功地运用于人工烘干谷物过程中热危害的检测。Hunt等人^[11]采用介电常数测量技术,发明了一种测量大豆含油率的方法。该方法也可以测量向日葵种子的含油量^[12]。

利用谷物电特性进行加热干燥也是重要应用之一。介电常数特性加热干燥的原理是,当外加电场随着时间改变方向时,谷物中的电偶极子也随之改变方向。由于电偶极子不是球形的,它不能自由旋转。这样,分子之间就发生摩擦,把电场给予的能量变成热能,因而,谷物的温度升高。随着外加电场频率的增大,电偶极子反复极化,互相摩擦就越剧烈。外加电场的电场强度越大,分子偶极子从外加电场中得到的能量越多。因此,分子极化和旋转产生的热量就越大。利用谷物电特性进行加热干燥的应用非常广泛,其在食品工业和家庭烹调中均有。例如:食品工业上利用它烤制食品,消毒食品,烘干谷物等,家庭应用最广的是微波炉。与传统烹调方法相比,微波炉有许多优点。第一,烹调迅速,比传统炊具快几十倍;第二,能保持食品的色香味,对食物中的维生素破坏少;第三,加热均匀,不会出现外焦内生现象;第四,无烟,无明火,清洁卫生并且安全;第

五,省电节能。

食品的电特性亦可应用于对食品的消毒,如“欧姆加热法”。它是食品在通电消毒过程中,就像电炉中的钨丝一样作为电阻被加热。据介绍,这种食品消毒技术既方便,又可靠,能够杀死小至单核球增多性李氏杆菌,大到肉毒芽孢梭菌等任何细菌,而且能保持食品的原形和原味。其优点是,食品中的固体部分和液体部分加热同时完成,而且固体食品通电时热量分布均匀,消毒时间短,仅需16 min。据报道,食品通电消毒技术主要工艺流程是:把食品放在一个衬有绝缘塑料的圆筒中,筒中电极发出的电流通过食品进行消毒,消毒后的食品被自动送到无菌包装机上密封装袋。

此外,谷物的电特性还有许多其它的应用。随着谷物电特性研究的深入,将有更多的应用。这正是我们研究的意义和目的所在。

参 考 文 献

- 1 赵学笃等. 农业物科学. 机械工业出版社, 1987.
- 2 钱新耀. 种子的电传导和介电特性研究. 江苏工学院硕士论文, 1987.
- 3 Nelson, S. O. The Journal of Microwave Power. 1983. 18 (2); 143~152.
- 4 Sokhansanj, S. et al. J. Agric. Engng. 1988, (39): 173~179.
- 5 董怡为. 种子的电特性及静电分选. 南京农业大学硕士论文. 1990.
- 6 Brockelsby, C. F., Cereal Chem. 1951, 28 (2): 83~94.
- 7 Zeleny, L., Cereal sci. Today. 1960, 5 (5): 130~136.
- 8 Matthews, J., J. Agr. Eng. Res., 1963, 8 (1): 17~30.
- 9 Butcher, J., Milling. 1970, 152 (6): 44~52.
- 10 Holaday, C. E., Cereal chem., 1964, 41: 533~542.
- 11 Hunt, W. H. M. et al. Oil Chem. Soc., 1952, 29 (7): 258~261.
- 12 Remussi, C. et al. Revista Argentina de Grasasy Aceites, 1968, 10 (1): 8~11.