

# 农业物料电特性研究进展

张 俐, 马小愚, 雷得天, 杨 方

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 该文通过对国内外农业物料电特性研究资料的分析, 阐述了农业物料电特性的概念、种类及意义, 介绍了农业物料电特性的 4 种测试方式和阻抗特性、介电特性的几种测量方法, 并对各种测量方法的优缺点进行了系统分析和总结, 概述了国内外对植物、动物及微生物等农业物料电特性的研究状况和应用, 指出了目前农业物料电特性研究的不足, 为今后研究及发展趋势提出了建议和意见。对进一步深入研究农业物料电特性及其应用具有参考价值 and 指导意义。

**关键词:** 农业物料; 电特性; 研究进展

**中图分类号:** S125

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)03-0018-05

## 1 引言

农业物料主要指动物、植物和微生物及其相关产品。农业物料的种类不同, 其生理特征、理化特性千差万别。因外界因素影响不同, 呈现出的生物效应也不同。农业物料电特性的研究是随着农业工程和生命科学的发展而新兴的边缘交叉领域, 主要研究农业物料在外电场作用下产生的电学特性。农业物料电特性可分为主动和被动两类<sup>[1]</sup>: 一类是农业物料自身内部存在着某种能量而产生电位差, 即: 生物电; 另一类是影响物料所在空间的电磁场及电流分布的一些特性如: 阻抗特性、介电特性。农业物料的电特性应用范围非常广泛, 可用于农产品的贮藏加工、保鲜、灭菌灭虫、清选分级、无损检测等诸多方面。早在 20 世纪 40 年代欧、美、日等发达国家, 就在该研究领域不断拓宽加深。我国 20 世纪 80 年代才开始这方面的工作, 并取得了一定的成绩。但与国际同类研究相比, 在研究对象、测试方法、应用领域均存在很大差距。

## 2 农业物料电特性测量方法

农业物料电特性的测量包括测试方式和测量方法。测试方式分为<sup>[2]</sup>: (a) 切片式 (b) 针刺式 (c) 接触式 (d) (e) 非接触式如图 1 所示。测量方法包括: 阻抗特性的测量和介电特性的测量。

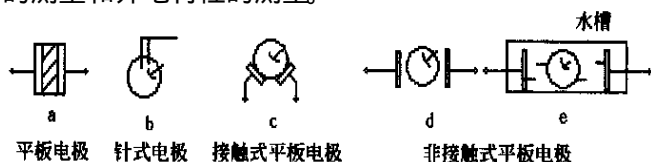


图 1 测量电极方式

Fig. 1 Methods for measuring electrodes

### 2.1 阻抗特性的测量<sup>[3,4]</sup>

生物体电阻可等效为图 2 所示电路, 其复阻抗为  $Z$

$= R_s - jX_s = R_1 + \frac{1}{1/R_2 + 1/r + j\omega\epsilon}$  给测试物料加上直流电由欧姆定律  $Z = V/I$  可求出直流阻抗; 交流阻抗的测量可求出不同频率下阻抗值, 作出 Cole-Cole 曲线。测物料阻抗时可用伏安法、补偿法或电桥法, 其电路如图 3 所示。

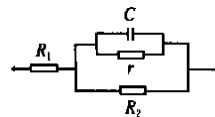


图 2 生物组织的等效电路模型

Fig. 2 Equivalent circuit model of biological tissues

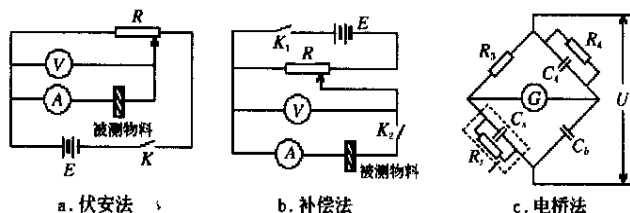


图 3 阻抗测量电路

Fig. 3 Resistance measurement circuit

### 2.2 介电特性的测量<sup>[5-7]</sup>

#### 2.2.1 介电特性参数

主要有相对介电常数  $\epsilon_r$ ; 相对介质损耗因子  $\epsilon''$ ; 介质损耗角正切  $\tan \delta$

电介质相对介电常数为:  $\epsilon_r = c/c_0$ ; 用复介电常数表示:  $\bar{\epsilon} = \epsilon_r - j\epsilon''$ ;  $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon_r$

交流电场中  $\epsilon$  与电导率  $\sigma$  的关系:

$$\sigma = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' = 2\pi f \tan \delta \epsilon_0 \epsilon'$$

式中  $\epsilon'$ ——电介质的相对介电常数;  $c$ ——充满介质的平板电容器的电容;  $c_0$ ——同样尺寸真空电容器电容;  $\epsilon_0$ ——真空介电常数为,  $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$ ;  $\epsilon''$ ——相对介质损耗因子;  $\tan \delta$ ——介质损耗角正切;  $f$ ——频率, Hz;  $\delta$ ——介质损耗角;  $\sigma$ ——电导率, s/m;  $\bar{\epsilon}$ ——复介电常数。

#### 2.2.2 介电特性常用的测量方法

1) 电桥法: 是在低中频下测量物料介电参数的主

收稿日期: 2002-05-23 修订日期: 2003-02-27

作者简介: 张 俐, 女, 高级工程师, 博士生, 从事农业电气化与自动化及农业物料物理性质的研究。哈尔滨市香坊区 东北农业大学工程学院, 150030

要方法。由平衡条件  $Z_s \cdot Z_3 = Z_b \cdot Z_4$ , 利用 3 个已知阻抗臂求另一个被测试样桥臂, 调节电桥达到平衡, 根据平衡条件求出试样并联等值电容和电阻, 从而计算出试样的  $\epsilon$  和  $\text{tg} \delta$  如图 3c。该方法简单易行, 但影响因素较多、误差较大, 较难实现各种频率下的介电常数测试。

2) 谐振法: 是由可调频率的振荡器激励  $RLC$  谐振电路如图 4 所示, 当回路加上电压  $U$  时, 调节  $C$  使电路达到谐振  $I_{\max} = U/R$ , 记下  $Q_1, C_1$ ; 接入试样平板电容, 调电路达到谐振, 记下  $Q_2, C_2, \epsilon_r$ , 然后求  $\epsilon = C_s d / \epsilon_0 A$ ,  $\text{tg} \delta = \frac{C}{C_1 - C_2} \times (\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2})$ 。其中:  $C_s$ —电容器电容,  $C_s = (C_1 - C_2)$ ;  $S$ —电容器平板面积;  $d$ —平板间距离。该方法简单易行, 但较难准确地测试出各种谐振频率下的介电常数。上述两种方法都存在生物组织不能充满极板, 介电常数和极间电容不成正比关系, 使介电常数计算复杂的不足。

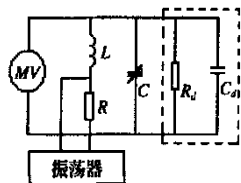


图 4 谐振法

Fig 4 Resonant method

3) 微波法: 分为时域测量法和频域测量法。

时域测量法: 通过测量反射系数来推知介电常数的测量方法。将时域测得的响应经傅氏变换为频域中的响应。

频域测量法: 在频域范围内, 用连续周期电磁波作为探测信号源, 研究被测信号的稳态影响。包括波导法、谐振腔法和自由空间法等等。

波导法: 波导波长  $\lambda$  与介电常数  $\epsilon$  的关系为:  $\lambda = \lambda_0 / \epsilon^{1/2}$ , 通过测介质充填在传输线前后的波导波长的变化率计算介电常数的方法。开口波导法只测  $\epsilon$ , 计算简单不破坏试样, 适于非磁性材料和生物活体检测。透射法原理简单、计算简便, 不涉及试样长度、属高损耗介质破坏性测量。

谐振腔法: 是用具有储能与选频特性的微波谐振传感器来测量介电常数的方法。该法技术复杂, 破坏试样, 不受试样与导电板间隙的影响。适于损耗精度高的低损耗介电材料的测试。

自由空间法: 是用光学原理测材料  $\epsilon$  的方法。适合测量表面平滑且尺寸较大的介质板。测量原理简单、方法易行, 一般用于毫米波和亚毫米波段, 但影响测量精度因素较多。

### 3 国内外研究状况

已有文献报道, 农业物料电特性的研究领域涉及种子活力、植物生长发育及环境因素的影响, 畜禽产品和果蔬品质判别, 农产品冷冻和解冻, 动物疾病诊断与治疗、细胞分离和选别等多方面。

#### 3.1 植物及植物产品电特性的研究

1) 植物<sup>[9-15]</sup>: 早在 20 世纪 40 年代, 国外学者对不同形状和种类的植物种子及植株进行电特性研究发现: 植物发芽势、长势与电压成正相关, 证明植物具有生物电, 并伴随生命的全过程。随后经过几十年的探索, 生物电的研究范围、内容不断扩大, 研究表明: 不同的电场对植物种子和植株有促进、抑制、无变化 3 种影响。不同的电场和作用时间对植物的作用效果不同, 呈现剂量不定性、参数的多元性、多向性、阶段性等。树木电阻、极化电容与树高、直径、材积生长量、韧皮部含水率和生命力等因素呈正相关。植物在不同逆境中电阻值不同, 由植物组织电阻升降现象判断冷冻、热、干旱脱水和  $\text{SO}_2$  等伤害。西红柿磷肥用量的试验结果显示, 阻抗变化与磷量负相关, 以此可判别植物生长营养成分。微直流电可促进小麦原生质体形成细胞团和植物培养组织及受伤组织的生长和分化; 提高苜蓿胚状体的发生率; 三叶草原生质体的分裂频率等。这些现象表明: 微直流电处理可成为组织培养中调控植物生长发育的途径。G. E. Meyer 等人研究了电偶植物生长测量系统, 利用一台计算机进行植物生长非破坏性测量, 以了解植物生长情况。

2) 谷物和种子<sup>[16-28]</sup>: 谷物和种子的研究对象为谷物、牧草、蔬菜和树木种子等, 物料的电特性用电导率、介电常数、损耗因子等电参数来表示。大量研究发现物料的温度、含水率、密度及所加频率是影响农业物料电特性的主要因素, 任何频率上  $\epsilon$  随含水率的增加而递增, 而  $\text{tg} \delta$  和  $\epsilon$  取决于频率区域和含水率范围而时增时减; 阻抗与水分在一定范围内 (5% ~ 15%) 基本呈对数关系  $Z = A + \log b$  ( $a, b$  均为常数  $0 < b < 1$ ), 当含水率较高 (30%) 时, 种子的阻抗趋于自由水阻抗; 温度与  $\epsilon$  近似于线性正相关而与阻抗呈负相关,  $\text{tg} \delta$  和  $\epsilon$  与温度的正相关取决于频率、含水率、温度域; 密度随谷物形状、含水率的变化而变化, 与电参数建立起关系困难较大; 通过对颗粒物  $\epsilon$  与容重  $\rho$  关系研究表明: 两者为线性函数关系  $(\epsilon)^{1/2} = 1 + A_2 \rho$ ,  $(\epsilon)^{1/3} = 1 + A_3 \rho$ , 其中  $A_2, A_3$  为常数, 该方法被用于小麦、玉米、大豆、麦类等谷物的介电常数预测模型。在测量方法和手段上, 从阻抗仪、Q 表到智能 LRC 测试仪、微波的同轴线法、谐振腔法等并利用交叉比率法来减小误差。研制了很多测量仪器, 用于单颗粒、群体颗粒在线测量, 快速水分测量等。

3) 果蔬<sup>[2, 9, 29-35]</sup>: 国外用电导率、微波短路同轴线和开路终端技术对马铃薯、甜薯、桃子、西瓜、罗马甜瓜、黄瓜、胡萝卜、苹果、西红柿等几十种果蔬, 在较大频率范围内进行了介电常数和损耗因子的测量, 以判别果蔬的成熟度、冻伤、腐烂等。加藤宏郎用阻抗仪对苹果、桃子、梨、柿子进行了破坏和非破坏性试验, 发现 100 Hz ~ 10 MHz 频率内水果过熟、老化、腐烂、损伤都伴随着细胞组织和电特性的显著变化。提出在低频范围内与大小无关, 可用简单平均地判别电特性的浸渍比较法; 果皮阻抗大于果肉阻抗, 1 MHz 以上两者差异变小, 提出了果皮影响修正法; 从阻抗的 Cole-Cole 图可以看出水

果阻抗随新鲜度高、低、腐烂、损伤依次降低。在 100 Hz ~ 100 kHz 之间苹果贮藏时间与果肉阻抗呈正相关; 在 5~ 100 kHz 频率范围内, 腐烂或损伤的苹果阻抗比完好的要小, 但频率漂移影响较大; 在 33~ 100 kHz 频率范围内, 腐烂或损伤的苹果介电常数比完好的要大, 测试频率与相对介电常数比基本无关, 损失因子的变化无一定的规律。对桃子贮藏过程中电特性变化测试发现, 15 kHz 以下为桃子最佳测试段, 桃子随贮藏时间的增加其等效阻抗增大, 相对介电常数和介质损耗因子减小, 桃子腐烂时特性值出现反复。

### 3.2 微生物、动物及动物产品的电特性的研究<sup>[9, 36~ 41]</sup>

利用电导率可简单迅速地测定微生物的活菌疫苗、鲜奶中的大肠菌群。应用于微生物和较大生物细胞电特性研究的方法有: 内部电极法和间隙法; 小细胞的测定除悬浮液法外, 还有介电泳动法、微小吸量管法和回转电场法等。细胞悬液法测量装置简单、频率范围宽, 其他方法可进行细胞的分离和选别。

Norris<sup>[9]</sup> (1952) 在无线电频率范围内测量禽蛋品质, 结果在 50 kHz ~ 1 GHz 频率范围内测得了蛋黄和蛋清的品性, 找出了电导率与温度的相关性。Pinkerton 等在低频范围内研究了乳制品的乳糖、凝固温度等参数和电导率的关系, 结果通过牛奶离子浓度的变化, 探查出了牛的乳腺炎, 认为在一定温度下电导率与白血球有相关性; 乳制品微波介电性能的测量表明: 不同的种类和组成成分, 乳制品的介电常数和电导率呈现显著的差异; 对瘦牛肉、牛排、肉糜、火腿、鱼类、猪肉、猪肝、奶油、肉汤等国外都进行了电导率与温度、水分相关性的研究, 发现在 10 kHz ~ 1 MHz 频率内可进行鱼的新鲜度判别; 用 60 ~ 3 000 MHz 频率对兔、猪进行在体和离体射频电特性测试发现器官介电参数差异很大; 不同含盐率的鸡胸肉在 0.3 ~ 3 GHz 的介电特性与样品温度、盐分浓度、频率有关。生物组织低频介电特性与频率相关。生物组织低频介电特性与频率相关, 通过仪器设备测量可以用  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  射线来表现。 $\alpha$ —色散通常在几个千赫以下,  $\beta$ —色散在几千赫到十几兆赫,  $\gamma$ —色散在微波频率范围内。生物组织的低频状态主要由生物组织的结构、合成物、离子活性决定。测量设备已研究出和离子层有关的胶质粒子装置、膜渗透装置, 并探讨出低频介电测量方法存在电极极化问题等等。

## 4 农业物料电特性的应用<sup>[1~ 50]</sup>

大量研究表明: 经电处理的植物和种子可提高种子的发芽率和过氧化氢酶活性, 促进植物细胞组织的生长与分化, 增强抗病力, 增加结果数, 提高产量; 电处理蚕、鸡、鸭、鼠、水生物等其孵化率、生长速度、质量和数量明显提高。农业物料的电特性可用于物料的温度、湿度、物位等因素的贮藏加工监测, 防止霉变、发热、生虫, 确保物料的质量; 利用物料的电特性与水分、温度、密度的相关性, 开发和研制了新型蔬菜种子水分快速测定仪、烟草、茶叶水分智能仪、微波水分仪、粮食物位仪、松散物料自动计量系统等。根据农业物料电特性有抑制生物新

陈代谢、降低呼吸和酶化活性的作用, 可用于延长存贮时间, 提高存贮质量, 起到保鲜作用。控制电导率或适宜的电场可灭菌杀虫, 利用射能的同轴探测法控制病虫, 并不破坏物料营养成分和品质。利用种子各种化学成分的电导率和介电常数的差异, 可实现把绝对质量、密度、含水率、种子活力、发芽势、发芽率不同的种子区分开, 甚至把抗农药和除草剂强、雌雄异株的种子选育出来。张立彬等人利用果蔬的阻抗和介电特性在腐烂、损伤、未熟、过熟等不同情况下品质的差异实现无损检测, 开发了苹果内部质量自动检测系统, 准确率大于 80%, 分级效率达到 2.5 s 分选一个苹果, 接近人工分选。利用奶制品、鱼、肉的电特性与腐坏时电特性的差异实现品质分选。利用牛奶的电特性判断奶牛乳腺炎; 根据动物器官在体电特性变化可进行生物器官的冷藏、病理诊断; 可用于微波冷冻、解冻, 缩短化冻时间, 减少质量和营养成分的损失。美国 Frigor's 鱼品加工厂用隧道式微波解冻装置解冻鱼。微波干燥技术利用农业物料介电损耗热效应, 进行干燥加工, 如: 日本用 2450 MHz/15 × 5 kW 微波干燥设备干燥蛋黄粉, 法国用 2450 MHz/48 kW 微波真空干燥机速溶橘粉生产, 我国在加热干燥方面也进行了谷物、果蔬、菌菇、药材等实验。用植物生理电特性来诊断旱情、判断其抗旱、抗寒和抗热能力、分析生长情况、预测植物的矮化效应、嫁接亲和性、了解土壤营养含量等等。

## 5 今后研究的几点建议

农业物料电特性及应用的研究领域正在拓宽, 研究品种在增多, 测试手段和研究方法日趋完善, 测试频率范围不断扩大。由于农业物料个体差异较大, 不同外界因素影响表现出的生物效应也不同, 造成农业物料电特性的研究进展缓慢。所以, 农业物料电特性的研究工作尚处于发现事实, 积累经验, 总结规律的阶段, 研究对象也很不全面, 有很多问题需进一步探讨: 1) 研究过程中要注意生物内部差异与外部环境的关系; 2) 注意农业物料电特性的双重性, 充分利用其有利方面; 3) 结合农业物料生理、生化结构及特性和电学理论进行综合研究; 4) 寻找同一类农业物料电特性的共性, 以便形成系列的测试方法和手段; 5) 理论的完善、实验方法的改进、实用技术的创新三者同步发展才能正确理解生物电性质及特殊功能, 这是今后研究的重要课题。

### [参 考 文 献]

- [1] 杉山纯一. 食品の電気的特性と品質評価(その1, その2) [J]. 日本食品工業学会誌, 1988, 35(9): 647~ 653, 35(10): 717~ 722
- [2] 加藤宏郎. 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊判定(その1, 2, 3) [J]. 農業機械学会誌, 1988, 50(6): 99 ~ 107, 1989, 51(5): 55~ 61, 1993, 55(1): 75~ 83
- [3] 杉山純一, 林 澈, 堀内久弥. キウイフルーツのインピーダンス特性[J]. 日本食品工業学会誌, 1987, 34(11): 725~ 730
- [4] 毕世春, 原所佳. 植物阻抗测量的技术方法[J]. 山东农业大学学报, 1997, 28(1): 45~ 48

- [5] 周祖镗. 农业物科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994
- [6] 周洪庆, 刘 敏, 杨南如, 等. 微波介质复介电系数测试理论及方法[J]. 硅酸盐通报, 1997, (6): 59~ 63
- [7] 张小平. 农业物料电学特性及其在农业科学中的应用前景[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(2): 158~ 162
- [8] 刘婉华, 陈香才. 谐振法在生物组织介电特性测量中的应用[J]. 河南医科大学学报, 1997, 32(1): 119~ 121
- [9] Nelson S O. Electrical properties of agricultural products-A critical review [J]. Transactions of the ASA E, 1973, 16(2): 384~ 400
- [10] 张 俐, 申勋业, 杨 方. 高压静电场对生物效应影响的研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2000, 31(3): 307~ 312
- [11] 张宪政, 苏正淑. 植物组织电阻信息及其应用前景[J]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28(4): 321~ 325
- [12] 戴 群, 夏光敏, 郭光沁. 微直流对小麦原生质体形成细胞团的促进作用[J]. 植物学报, 1995, 37(2): 162~ 164
- [13] 高保山, 董燕南, 王保柱. 树木生命力的电特性分析[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(1): 71~ 73
- [14] 藤井义晴, 林澈, 安田环. 植物体的电气的インピーダンス測定によるリンの栄養診断[J]. 日本土壤肥料科学杂志, 1984, 55(4): 305~ 309
- [15] Meyer G E, Davison D A. An electronic image plant growth measurement system [J]. Transactions of the ASA E, 1987, 30(1): 242~ 248
- [16] 钱新耀, 沈林生, 王光亮. 蔬菜种子的电传导和介电特性[J]. 农业工程学报, 1990, 6(3): 37~ 43
- [17] 赵金平, 顾正平. 林木种子介电常数的无损检测[J]. 林业机械与木工设备, 1999, 27(8): 7~ 9
- [18] Nelson S O. A mathematical model for estimating the dielectric constant of hard red winter wheat[J]. Transactions of the ASA E, 1985, 28(1): 234~ 238
- [19] Chari V K, Kandala, Leffler R G, Nelson S O, et al. Capacitive sensors for measuring single-kernel moisture content in corn [J]. Transactions of the ASA E, 1987, 30(3): 793~ 797
- [20] Nelson S O. Density dependence of the dielectric properties of particulate materials [J]. Transactions of the ASA E, 1983, 26(6): 1823~ 1825, 1829
- [21] Nelson S O. A model for estimating the dielectric constant of soybeans[J]. Transactions of the ASA E, 1985, 28(6): 2047~ 2050
- [22] 应冬火. 谷物介电性质及其在含水量测量中的应用[J]. 农业工程学报, 1992, 8(3): 113~ 119
- [23] Nelson S O. Factors affecting the dielectric properties of grain [J]. Transactions of the ASA E, 1982, 25(4): 1045~ 1056
- [24] Lawrence K C, Nelson S O, Kraszewski A W. Automatic system for dielectric properties measurements from 100KHz to 1GHz[J]. Transactions of the ASA E, 1989, 32(1): 304~ 308
- [25] Lawrence K C, Nelson S O, Bartley Jr P G. Measuring dielectric properties of hard red winter wheat from 1 to 350 MHz with a flow-through coaxial sample holder [J]. Transactions of the ASA E, 1998, 41(1): 143~ 150
- [26] Nelson S O. Dielectric properties measurement techniques and applications[J]. 1999, 42(2): 523~ 529
- [27] Powell S D, McLendon B D, Nelson S O, et al. Use of density-independent function and microwave measurement system for grain moisture measurement[J]. Transactions of the ASA E, 1988, 31(6): 1875~ 1881
- [28] Nelson S O, Tian-su You. Microwave dielectric properties of corn and wheat kernels and soybeans[J]. Transactions of the ASA E, 1989, 32(1): 242~ 249
- [29] 张立彬, 胥 芳, 周国君, 等. 苹果的介电特性与新鲜度的关系研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 186~ 190
- [30] Nelson S O, Forbus W R, Lawrence K C. Microwave permittivities of fresh fruits and vegetables from 0.2 to 20 GHz[J]. Transactions of the ASA E, 1993, 37(1): 183~ 189
- [31] Nelson S O. Microwave dielectric properties of fresh fruits and vegetables [J]. Transactions of the ASA E, 1980, 23(5): 1314~ 1317
- [32] Nelson S O. Microwave dielectric properties of fresh onions[J]. Transactions of the ASA E, 1992, 35(3): 963~ 966
- [33] 张立彬, 胥 芳, 贾灿纯, 等. 苹果内部品质的电特性无损检测研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 104~ 106
- [34] 胥 芳, 张立彬, 周国君. 无损检测桃子电特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 202~ 205
- [35] 胥 芳, 张立彬, 计时鸣等. 基于介电特性的水果品质无损检测方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(3): 230~ 234, 239
- [36] 赵孔双. 微小生物细胞的介电研究方法[J]. 生物物理学报, 2000, 16(1): 176~ 182
- [37] 加藤宏郎, 坂口守彦, 大井康之, 等. インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定(第1報, 第2報)[J]. 农业机械学会志, 2000, 62(3): 76~ 83; 2000, 62(5): 59~ 69
- [38] 鲁勇军, 胡保卫, 崔宏敏, 等. 在体和离体兔组织射频介电特性的测量[J]. 基础医学与临床, 1996, 16(1): 62~ 66
- [39] Fumihiko Tanaka, P. Mallikarjunan, C. Kim, et al. Measurement of dielectric properties of chicken breast meat [J]. J of JSAM, 2000, 62(4): 109~ 119
- [40] 鲁勇军, 朱 彤, 郭亚峰. 乳制品微波介电性能的测量[J]. 食品科学, 2000, 21(9): 8~ 11
- [41] Kuang W, Nelson S O. Low-frequency dielectric properties of biological tissues: A review with some new insights[J]. Transactions of the ASA E, 1998, 41(1): 173~ 184
- [42] 李小燕. 电阻抗测量法快速检测鲜奶中大肠菌群[J]. 现代商检科技, 1998, 8(3): 35~ 36
- [43] 滕召胜, 叶传剑, 王大故. 新型蔬菜种子水分快速测定仪的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 90~ 94
- [44] 金树德, 张世芳, 郑荣良. 从玉米生理电特性诊断旱情[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 91~ 95
- [45] 郭文川, 朱新华. 微波干燥技术在食品工业中的应用[J]. 食品科技, 1997, 2: 13~ 14
- [46] Nelson S O, Bartley P G Jr, et al. RF and microwave dielectric properties of stored-grain insects and their implications for potential insect control[J]. Transactions of the ASA E, 1998, 41(3): 685~ 692
- [47] 胥 芳, 张立彬, 计时鸣. 介电式水果品质分级机的原理及实现[J]. 浙江大学学报, 2002, 28(3): 325~ 330
- [48] 杜 民, 方志成. 烟草含水率测试仪改进与设计原理探讨

- [J] 仪器仪表学报, 1998, 19(3): 300~ 304
- [49] 杜 民, 方志成 茶叶含水率快速测定智能仪[J] 仪器仪表学报, 1990, 11(3): 312~ 317
- [50] 宋占伟, 崔志国 松散物料的自动计量系统[J] 吉林工业大学学报, 1995, 25(77): 83~ 87

## Progress in electrical properties of agricultural materials

Zhang Li, Ma Xiaoyu, Lei Detian, Yang Fang

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** The conception and varieties of electrical properties of agricultural materials and the meaning of current studies by analyzing research data are explained. It introduces the measurement methods of electrical properties of agricultural material, and compares the merits and defects of various methods. The state of research and uses of the electrical properties of plants, animals and microbes in recent years were outlined. Some opinions and suggestions for current and further developments were given. That will provide reference and guidance for further study the electrical properties and uses of agricultural materials.

**Key words:** agricultural material; electrical property; research progress