

张 兵, 韩 霞, 庄 斌, 等. 介电特性在作物需水诊断中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 7-9.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.003

介电特性在作物需水诊断中的应用研究进展

张 兵^{1,2}, 韩 霞², 庄 斌², 左承鹏²

(1. 农业部旱作节水农业重点实验室, 北京 100081; 2. 常州工学院电子信息与电气工程学院, 江苏常州 213002)

摘要: 为了能及时可靠地提供农作物旱情信息, 建立完善的节水灌溉系统, 本文综述了介电特性与作物需水的关系以及国内外学者对作物生理电特性在生理水分信息提取方面的研究现状, 指出了作物介电特性在作物需水诊断中的潜在价值以及目前存在的不足, 并对作物介电特性在农业灌溉领域中的应用前景进行了展望。

关键词: 介电特性; 作物; 需水诊断

中图分类号: S274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0007-03

生物电特性在医学工程领域的应用早已普及, 但农作物生理电特性的应用却一直没有得到发展。我国水资源短缺, 人均水资源只有约 2 000 m³, 绝大部分水资源都用于农业灌溉, 传统的灌溉技术根据土壤含水量诊断旱情, 虽然方法较为成熟, 但作物叶片的生理水分状况能更敏感地反映植株的干旱程度, 所以以作物自身水分状况为灌溉依据比以土壤水分状况为依据更可靠, 更能精确诊断作物需水问题。研究介电特性与作物需水的关系, 能给农作物旱情提供及时可靠的信息, 提高农业灌溉水的利用率, 对改变我国传统灌溉方式, 建

立完善的节水灌溉系统有着重要意义。本文通过查阅国内外大量相关文献, 综合目前国内外对于植物电特性的变化规律以及电特性与作物需水之间关系的研究, 预测介电特性在作物需水诊断中的发展趋势。基于目前在作物介电特性方面取得的成果, 总结作物含水率与介电特性之间的关系, 为今后作物需水的快速无损测量提供基础, 促进精细农业发展。

1 介电特性的概念及应用

1.1 介电特性与介电常数

物质的电特性分为导电特性和介电特性。介电特性是生物分子中的束缚电荷对外加电场的响应特性, 它的参数主要包括相对介电常数, 相对介质损耗因数, 介质损耗角正切和介质等效阻抗。介电常数 ϵ_r , 也称相对电容率, 是电介质固有的一种物理属性, 它表示电介质存储电场能量的能力, 也反映该电介质提高电容器容量的能力。一般电介质都有着自己

收稿日期: 2014-04-04

基金项目: 农业部旱作节水农业重点实验室基金(编号: BSRF201404)。

作者简介: 张 兵(1976—), 男, 山西大同人, 博士, 副教授, 研究方向为节水灌溉智能决策、作物生理电特性的研究。E-mail: zhangb@czu.cn。

[36] 张伶俐, 崔崇士, 屈淑平. 植物离体雌核发育的研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(11): 133-136.

[37] 牛明明. 甜瓜离体雌核发育诱导单倍体研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.

[38] 葛志东. 西葫芦未授粉子房离体培养研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.

[39] 孙守如, 翟庆慧, 胡建斌, 等. 几种生理因素对子房未授粉南瓜胚形成的影响[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(10): 977-980.

[40] Kantartzi S K, Roupakias D G. *In vitro* gynogenesis in cotton (*Gossypium* sp.) [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2009, 96(1): 53-57.

[41] 徐 静. 西葫芦雌核离体高效培养体系的建立[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.

[42] 李建欣, 葛桂民, 庞淑敏, 等. 三个基因型黄瓜品种未授粉子房胚状体诱导及植株再生研究[J]. 北方园艺, 2012(23): 131-134.

[43] 杨明贵, 王毓洪, 李林章, 等. 葫芦科植物未授粉子房培育单倍体研究进展[J]. 长江蔬菜, 2013(2): 9-12.

[44] 刁卫平, 陈劲枫, 雷 春, 等. 影响黄瓜未授粉子房培养胚发生因素的研究[J]. 南京农业大学学报, 2008, 31(1): 137-140.

[45] 王 璐, 陈小燕, 张 力, 等. 不同因素对黄瓜未授粉子房胚状体诱导的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 267-270.

[46] 廖祯妮, 于晓英, 符红艳. 光质影响植物离体再生培养的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2012(23): 96-99.

[47] 韩毅科, 杜胜利, 王 鸣, 等. 瓜类遗传育种中的染色体倍性操作[J]. 天津农业科学, 2002, 8(3): 30-34.

[48] 苏 敏, 张国裕, 赵尊练, 等. 西葫芦单倍体诱导及分子检测鉴定[J]. 西北农业学报, 2011, 20(10): 79-84.

[49] 郭凤领, 戴照义, 李金泉, 等. 通过雌核发育获得葫芦科蔬菜作物单倍体的研究进展[J]. 北方园艺, 2008(1): 59-60.

[50] Niemirowicz - Szczyt N. Diploidization of cucumber (*Cucumis sativus* L.) haploids by colchicines treatment [J]. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 1996, 65: 311-317.

[51] Yetisir H, Sair N. A new method fou haploid muskmelon (*Cucumis melo* L.) dihaploidization [J]. Sci Hort, 2003, 98: 277-283.

[52] Caglar G, Abak K. *In vitro* colchicine application of haploid cucumber plants [J]. Cucurbit Genetics Coop, 1997, 20: 21-23.

[53] Sztangret - Wisniewska J, Galecka T, Kiorzeniewska A, et al. Characteristics of double - haploid cucumber (*Cucumis sativus* L.) lines resistant to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis* Rostovzev) [J]. Cucurbitaceae, 2006: 515-526.

[54] Faris N M, Rakoczy - Trojanowska M, Malepszy S, et al. Diploidization of cucumber (*Cucumis sativus* L.) haploids by *in vitro* culture of leaf explant [J]. Food Biotechnology, 2000, 17: 49-54.

固定的介电常数,电介质分子会在电场作用下,发生运动摩擦,从而产生热量,这种有发热产生的热量便会带来介质损耗。介电常数是表示介电特性的宏观参数,它反映的不是电介质每个部分的介电特性,而是电介质足够大区域内的一个平均值。

1.2 介电特性与作物需水特性的关系

作物需水特性是作物在整个生长期对水量、水质、水温等的需求和反应的特性。作物属于生物体,是介于导体和绝缘体之间的电介质,它的生长过程也包含着介电特性变化的过程,在其不同的生长阶段,作物的介电特性也是不同的,其中水分是影响作物介电特性最主要的因素,干旱会使植株体液理化性质发生改变,体液浓增,叶水势增大,必然在生理电特性上有所反映,而作物生理水分信息则是反映作物需水的直接指标,比较灵敏、迅速。通过介电特性了解植株的生理状况,在植株需水关键期(需水敏感期)进行节水灌溉,对农业精量控制灌溉具有重要的现实意义。另外,介电特性检测方法具有简单、迅速、可靠等特点^[1-2]。

2 介电特性在作物需水诊断中的应用

Nelson 在 2.45 GHz、23℃下,以桃子、红薯、土豆、苹果香瓜、胡萝卜为研究对象,通过测试它们的介电常数和损耗因子,指出介电常数和含水率有关^[3]。Ualby 等研究不同频率下的玉米和小麦的叶子、茎秆的介电特性,指出频率在 5 GHz 时,NaCl 含量对介电损耗因数有明显影响^[4],与此同时,Tran 等以苹果、桃子、梨、胡萝卜和马铃薯的介电特性为研究对象,在 100~10 000 MHz 室温下,得到了介电常数和损耗因数是频率的函数的结论^[5]。由此,之后研究作物介电特性都涉及不同频率下的对照试验。Sokhansanj 等研究了在 1、18、300、2 450 MHz 下,整粒加拿大红硬冬小麦的介电常数,建立了关于介电常数和物料密度的方程式,指出物料密度对小麦的介电常数影响较大,而对介电损耗影响较小^[6]。Turner 提出以作物自身水分状况为灌溉依据比以土壤水分状况为依据更可靠^[7]。Seaman 等研究了在 150~6 400 MHz 室温下果肉和果皮的介电特性^[8],通过他的研究结果,知道了果肉和果皮具有不同的介电特性,并且他提出介电特性存在差异的主要原因在于含水率的差异,这对后来作物介电特性研究有指导性的意义。Kramer 提出叶水势是植物水分状况的最佳度量,当植物叶水势和膨胀压降低到足以干扰正常代谢功能时,即发生水分胁迫。所以,叶水势可以作为作物水分亏缺程度的诊断手段^[9]。Nelson 等用网络分析仪以及末端开口的同轴探针研究了室温下 200 MHz 至 20 GHz 范围内,23 种新鲜果蔬的 41 个频率点的介电常数,并且测量了它们的含水率,组织密度,可溶性固形物含量,指出影响果蔬介电特性的根本原因是在低频下离子的传导性和束缚水的松弛以及高频下的自由水的松弛,介电常数随频率的增加而稳定减小^[10]。Ikediala 等研究了 30 MHz 至 3 GHz 范围内,4 个品种苹果的果肉介电参数,指出随频率增加,介电常数减小^[11]。Kraszewski 等对在频域和时域下农产品(种子、植物、谷物、果蔬、肉)的微波介电特性测量技术进行了总结,指出这些物品的介电常数和损耗因子依赖于物质的含水^[12]。Ksenzhek 等测量了玉米叶片在水分亏缺发展过程中电阻变化^[13]。Nelson 等通过研究蜜瓜

果肉的相对介电常数和反映糖度的可溶性固形物含量的关系,指出在以相对介电常数的介质损耗因数分别除以可溶性固形物含量的复平面中,相对介电参数和可溶性固形物含量具有很好的相关性,并且根据试验结果建立了关系方程^[14]。Kandala 等研究了在 1~5 MHz 频率范围内,以黄玉米作为研究对象,得到黄玉米的含水率与电容、阻抗和相位差的三元二次关系,指出电容越大,含水率越高,阻抗和相位差对含水率影响视具体情况而定^[15]。

国内在这一领域的研究从上世纪九十年代才开始活跃。钱新耀等对蔬菜种子的含水率和测试频率对种子电传导、介电特性的影响进行了研究,获得了相互之间的回归方程,发现了蔬菜介电特性与其含水率的关系^[16],这是我国对介电特性的较早研究。沈以煦对水稻、小麦、油菜籽 3 种物料的频率特性及其与作物含水率的函数关系进行了分析和研究,提出了用变 Q 值法测量作物电特性参数的方法,并且研究发现介电常数与物料含水率呈线性相关,即当含水率一定时,物料的介电常数随频率的下降而增大,损耗角正切随频率的增大而呈下降趋势,随含水率的减小其下降趋势减缓^[17]。张立彬等用破坏法研究金帅苹果切片组织的介电特性与新鲜度的关系,得出在 10~100 kHz 的频率范围内,苹果的介电特性与新鲜度具有明显的相关性的结论^[18]。龚琦等采用 LCR 数字电桥,进行了以电容为主要依据的多项电特性参数值的测定,能检测茶叶的综合品质,正确判断率达 94% 以上,其试验结果表明,茶叶电容值随茶叶等级的升高而增大,同时也随含水率的增加而增加^[19]。采用 LCR 数字电桥进行试验的方法,被之后的许多学者在研究叶片电特性时所采用。胥芳等研究了用无损检测方法测定桃子在储藏过程中电特性的变化,得出在 12~100 kHz 的频率范围内,桃子的最佳测试频段为 15 kHz 以下,此时桃子随着储藏时间的增加,等效阻抗增大而相对介电常数和介电损耗减小,桃子在开始腐烂时,电特性有一个较大的反复^[20],这是一次对水果介电特性的研究,但是水果仍与作物生长有着很大差别,它缺乏一定的包容性,但这次研究,也为作物介电特性研究提供了一个很好的思路。李锡录等以土壤水势、农田能量平衡和水量平衡理论作为作物需水、灌溉预报的依据,将土壤水势传感器与单片机共同组成处理系统,使农田灌溉实现自动控制^[21]。徐保江等根据物料的含水率对其介电常数等电参量的影响关系,对水稻、玉米和大豆 3 种物料的含水率进行了测试,提供了更为简单易行测定含水率的方法,并对物料电特性与介电常数及含水率的函数关系进行了分析和研究,得出了物料的介电特性与物料含水率之间的函数关系主要与物料的品种有关的结论^[22]。金树德等采用针刺式方法,在玉米茎秆上插入不锈钢针,测量茎秆电阻值,并用介电常数变化型平行平板电容传感器测玉米叶片生理电容,能实时准确反映植株水分状况^[23]。张俐等通过研究植物叶片的生理水分状况与植株干旱程度的关系,发现要进行植物电特性的测量,需要有一定频率的激励信号源,不同的频率激励信号对植物生理水分有不同的反映^[24],这对叶片频率的测量是个重大的突破,也进一步证实叶片频率与叶片的需水情况有着密不可分的关系。郝晓莉等根据农业物料的含水率对其相对介电常数等电参量的影响关系分别对水稻、玉米和大豆 3 种物料的含水率进行了标定试验,提

供了测定含水率的一种更为简单易行的方法,对物料电特性与介电常数以及含水率的函数关系进行了分析和研究^[25]。王庆惠等通过对种子介电常数的测定及发芽试验,测定棉花、玉米、小麦和黄豆等农作物种子的介电常数,分析影响测试因素,得出种子品质与介电常数之间的关系,并通过发芽试验验证了测试结果^[26]。对于种子介电特性的研究也是一种新的思路,它不同于对作物本身的研究,而是要采用新的测量方法,并且在数据的处理上也要采取特殊的方法。

国内外对单一指标预测作物水分亏缺信息的研究比较多,目前对于依据作物生理电特性预测作物水分信息虽有报道,但基本都停留在实验阶段,尤其对于敏感测试频率以及水分信息滞后等关键难题方面的研究几乎空白,因而开展对典型地区特定作物的生理电特性与水分亏缺的研究,对于我国旱区节水灌溉具有重要的现实意义。

3 介电特性在作物需水诊断中的应用展望

在注重提高农作物产量和质量的今天,作物的生理电特性作为一个可靠的可以衡量作物生长状况的参数,越来越被人们所重视,国内外对这方面的研究也从未停止过。由于不同作物各自都有着不同的介电特性,所以这项研究范围十分广泛,需要更多的学者进行探讨研究。然而,目前对介电特性的研究大多局限于对作物个体需水量的研究,忽视了作物的生长是由多方面因素决定的,因此,将作物的本身含水率,大气以及土壤作为一个系统研究才是更加需要关注的。

为了更好地表示作物需水与介电特性间的关系,研究人员从使用微电脑,有限元等先进技术,到利用数字电桥仪进行数据的测量分析,通过研究不同植物在特定频率范围下的介电常数,将每种植物生理电特性用数学模型表现出来,构建不同作物介电特性与其含水率的函数表达式,准确地显示当前作物的缺水状况,为精确灌溉提供理论基础。

参考文献:

- [1] 黄勇,坎杂,王丽红. 介电特性及其在农业生产中的应用[J]. 现代化农业,2006(2):34-36.
- [2] 郭文川,伍凌,魏永胜. 失水对植物生理特性和电特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(4):185-188,191.
- [3] Nelson S O. Microwave dielectric properties of fresh fruits and vegetables[J]. Transactions of the ASAE,1980,23(5):1314-1317.
- [4] Ulaby F,Calder J. Microwave dielectric properties of plant materials[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1984,22(4):406-415.
- [5] Tran V N,Stuchly S S,Kraszewski A. Dielectric properties of selected vegetables and fruits 0.1~10.0 GHz[J]. Journal of Microwave Power,1984,19(4):251-258.
- [6] Sokhansanj S,Nelson S O. Dependence of dielectric properties of whole-grain wheat on bulk density[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1988,39(3):173-179.
- [7] Turner N C. Plant water relations and irrigation management[J]. Agriculture Water Management,1990,17:59-73.
- [8] Seaman R,Seal J. Fruit pulp and skin dielectric properties for 150 MHz to 6 400 MHz[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy,1991,26(2):72-81.
- [9] Kramer P J. Water relations of plants[M]. New York:Academic Press,1993.
- [10] Nelson S,Forbus W,Lawrence K. Permittivities of fresh fruits and vegetables at 0.2 to 20 GHz[J]. The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy: a Publication of the International Microwave Power Institute,1994,29(2):81-93.
- [11] Ikediala J N,Tang J,Drake S R,et al. Dielectric properties of apple cultivars and codling moth larvae[J]. Transactions of the ASAE,2000,43(5):1175-1184.
- [12] Kraszewskia W,Nelson S O. Microwave permittivity determination in agricultural products[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy,2004,39(1):41-52.
- [13] Ksenzhek O,Petrova S,Kologvazhny M. Electrical properties of plant tissues, resistance of a maize leaf[J]. Bulg Plant Physiol,2004,30(3/4):61-67.
- [14] Nelson S O,Trabelsi S,Kays S J. Dielectric spectroscopy of honeydew melons from 10 MHz to 1.8 GHz for quality sensing[J]. Transactions of the ASABE,2006,49(6):1977-1981.
- [15] Kandala C V. Estimating the moisture content of grain from impedance and phase angle measurements[C]//IEEE Sensors Applications Symposium. New York:Institute of Electrical and Electronics Engineers,2009:61-69.
- [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(2):37-43.
- [17] 沈以煦. 水稻小麦油菜籽电特性的测试[J]. 北京农业工程大学学报,1992,12(3):1-6.
- [18] 龚琦. LCR 数字电桥检测茶叶品质的研究[J]. 农业工程学报,1997(2):216-219.
- [19] 张立彬. 苹果的介电特性与新鲜度的关系研究[J]. 农业工程学报,1996(3):187-190.
- [20] 胥芳. 无损检测桃子电特性的试验研究[J]. 农业工程学报,1997(1):202-205.
- [21] 李锡录,聂俊华,单艳红. 土壤水研究及在作物需水灌溉中的应用[J]. 山东农业大学学报,1997,28(2):178-186.
- [22] 徐保江,张本华,张淑珍,等. 根据物料的电特性快速测定含水率的试验研究[J]. 沈阳农业大学学报,1998,29(1):65-68.
- [23] 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.
- [24] 张俐,马小愚,雷得天,等. 农业物料电特性研究进展[J]. 农业工程学报,2003,19(3):18-22.
- [25] 郝晓莉,张本华,孟淑洁,等. 介电特性在粮食含水率检测中的应用研究[J]. 农机化研究,2006(2):121-123,131.
- [26] 王庆惠,史建新,巴寅亮,等. 种子介电常数的测定及发芽试验[J]. 新疆农机化,2006(4):36-37,45.