

# 介电特性在食品物料检测中的应用与进展

辛松林, 秦文, 江凌燕, 肖岚

(四川农业大学, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 介电特性与食品原料的新鲜度及腐烂程度间存在密切关系, 相对介电常数在适当的频率范围内, 对一些食品的腐烂程度有较好的相关性, 可以用于评价食品的内部品质。介电特性与水分含量变化规律具有相关性, 电容值的变化趋势与水分的变化相同, 两者存在极显著的线性相关性。

**关键词:** 介电特性; 无损检测; 频率

**中图分类号:** TS207.3; **文献标识码:** A; **文章篇号:** 1673-9078(2007)01-0100-04

## The Development and Application of Dielectric Properties in the Detection of Food Materials

XIN Song-lin, CHEN Wen, JIANG Lin-yan, XIAO Lan

(Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** There is a close correlation between the dielectric properties and the freshness of food materials within suitable frequency range and thus the dielectric properties can be used to evaluate the quality of the foods. The purpose is to acquire the correlation of dielectric properties and moisture content for the automatic and nondestructive monitoring of agricultural products.

**Key words:** Dielectric properties; Nondestructive monitoring; Fruit and vegetable

食品物料的加工与贮藏通常是对理化性质进行检测, 并通过控制某一项或几项理化指标来实现的。介电特性与食品原料的新鲜度及腐烂程度间存在密切关系, 电容值的变化趋势与水分的变化相同, 两者存在极显著的线性相关性, 因此利用介电特性和食品物料理化性质间的相关性来实现食品物料的在线快速无损检测具有广阔前景。

### 1 介电特性的概念

介电特性(dielectric properties), 是指生物分子中的束缚电荷对外加电场的响应特性。评价介电特性的主要参数是介电常数(dielectric constant)和介电损耗因数(dielectric loss factor), 此外, 还有损耗角正切、等效阻抗、电阻电导和电容<sup>[1]</sup>。介电常数是电介质固有的一种物理属性, 电介质一般具有固定的介电常数, 表示该物质存储电场能量的能力, 反映该电介质提高电容器容量的能力, 损耗因数反映电介质在电场中损耗的能量, 损耗角正切也反映能量的损耗, 损耗角是交流电的总电流与电容电流的夹角, 电阻值可用来

收稿日期: 2006-05-15

作者简介: 辛松林, 2004 级硕士, 专业为农产品加工与贮藏, 江凌燕为 2002 级本科生

检验果实成熟度, 电导可用于表征生物组织的导电性, 反映生物体生命力的大小, 电容已用于谷物含水量测定<sup>[2]</sup>。

### 2 介电特性用于食品物料检测进展

#### 2.1 国外的研究进展

Mclendon and Brown(1971)对梨的介电特性在 0.5~5 kHz 的频率上进行了测试, 测试结果显示梨的介电常数和损耗角正切随频率增长而呈减少趋势; 相反, 随着梨的逐渐成熟, 两者均逐渐增大<sup>[3]</sup>。Nelson 在 0.2~20GHz 的频率范围上对一些水果进行了研究, 研究表明, 介电常数随水果种类的不同而不同, 但在这段频率范围内, 所测试水果的介电常数随频率增加均稳定减少, 损耗因数随频率的增加开始呈减少趋势, 随后从 1~3 GHz 频率区开始逐渐增加, 同时发现含水量在微波频率范围内是影响介电常数的主要因素<sup>[4,5]</sup>。日本学者加藤宏朗(1988, 1989)在 10 Hz~13 MHz 的频率范围对损坏的和正常的水果的电特性进行了比较测试, 结果显示, 损坏水果的串、并联等效电阻及阻抗在该频率范围内均低于正常水果, 而串联等效电容及损耗因数数值则比正常的水果大, 他发现串联等效电阻与水果的新鲜度或成熟度的相关性最明显, 同时,

他还探讨了水果果皮对介电特性的影响,当频率高于1MHz时,果肉阻抗与整果阻抗间的差值较小,即果皮的阻抗影响较小<sup>[6,7]</sup>。另一学者杉山纯一(1988)对食品物料的介电特性进行研究并详细综述了食品电特性的机理,认为利用介电特性对食品进行内部品质评价具有可行性<sup>[8]</sup>。TONG C.H(1994)在915 MHz和2450 MHz两个频段测定温度范围25~125℃豌豆泥的介电特性,随着频率和温度的升高介电常数降低,在915 MHz时损耗因数随温度的升高而升高<sup>[9]</sup>。Ryynänen.S(1995)通过对水相的研究发现电容率和介电损耗因数与溶液中的离子浓度相关,频率和温度同样对二者有影响。他认为食品的介电特性主要由它们的化学组分决定的,物理性质对其影响不大,食品成分中水和盐(灰分)的影响很大程度上取决于它们的结合方式,所以混合物的介电特性要比单一组分复杂的多<sup>[10]</sup>。Goedeken.D.L(1997)认为介电常数并不依赖于糖度,而是随着介电损耗因数的升高而增加,在温度范围25~60℃时,介电常数随着温度升高而上升,而在60~95℃温度范围对预胶化面包试样进行观察时发现,所有样品的介电常数在这一温度范围内都基本恒定,添加1%食盐的样品的介电损耗因数从25~95℃随温度升高而线性升高,未加入盐的试样则表现为线性下降,介电常数和介电损耗因数都随着水的质量浓度( $\text{g}_\text{水}/\text{cm}^3$ 试样)增加线性升高<sup>[11]</sup>。Zheng M(1998)等人在研究黄胡椒调味鱼虾的导热率和介电特性时发现用2%三聚磷酸盐浸泡过的海产品的介电常数随烹调温度升高而上升,而损耗因数和穿透深度降低,在常温下,由于高水分含量的原因,用2%三聚磷酸钠处理过的虾的导热率相对于未经处理的和仅经过调味处理的高,但在调味和未经处理的鱼虾的导热率未见差别<sup>[12]</sup>。Bircan(2002)利用介电特性检测肌肉蛋白质变性情况,他发现用热差扫描仪测定牛肉胶原、鸡胸肉、鸡腿肉、鲑鱼肉和鲑鱼肉在接近蛋白质变性温度时,肌肉的介电常数和介电损耗因数都升高,当试样重新加热则不再出现这种变化,这种利用介电特性测定的是一个不可逆的变化,低频下介电特性有很大的升高,当胶原蛋白和肌球蛋白发生变性时肌肉发生萎缩,水和矿物质也随之流失,这使得水和离子更具流动性,通过介电常数和损耗因数可以测定水和离子的流动性来实现测定蛋白质的变性温度<sup>[13]</sup>。C.Inoue(2002)在研究频率和煎炸对豆油介电特性的影响时发现,介电常数可以用来即时或连续测定热油,在频率1 kHz~100 kHz范围,通过几个特定温度(180,200,220,和240℃)连续对豆油加热几天,结果发

现,豆油的介电常数随着加热时间的延长而升高,并且和酸价、密度和相对粘度相关,通过这种方法可以实现即时或连续评价油品品质<sup>[14]</sup>。Yaghmae.P(2002)在21℃,2450 MHz频率下用开放式同轴探测法测定不同浓度和比例的NaCl、山梨醇和蔗糖混合溶液介电特性的变化,并能够用若干个方程明确评价糜状食品混合溶液和纯溶液的介电特性,通过实验得到的方程适用于纯溶液以及NaCl(0~6%)、山梨醇(0~18%)和蔗糖(0~60%)混合溶液,但对于鱼肉糜只有损耗因子能够用方程进行很好的评价<sup>[15]</sup>。Miura.N(2003)提出时域反射计量法(TDR:time-domain reflectometry)应用于微波介电舒张的测定,这种方法可应用于固体液体食品,频率范围在100 kHz~10 GHz之间, Miura认为舒张过程主要是由自由水和结合水的重排、表面极化以及链聚合等反应引起的,他用同样的方法检测威士忌酒、啤酒、白酒,结果观测到了这种舒张过程是由于水和酒精分子偶极的重排造成的<sup>[16]</sup>。Sipahioglu.O(2003)在频率2450 MHz下,温度5~130℃范围研究15种果蔬的介电特性,果蔬的介电常数随着温度和灰分的升高而下降,介电损耗因数随温度的升高呈现非线性变化:先降低后升高,转变温度随着灰分的升高而降低,同时灰分使得介电损耗因数增加。他又在频率2450 MHz下,温度-35~70℃范围内研究了19种不同含水量和灰分的火腿试样,发现介电常数随着灰分的升高而降低,随着水分含量的增加而升高,在含水量低于60.7%的试样中介电损耗因数随着水分含量的升高而增加,高于此水分含量时损耗因数随着水分含量的升高而减小,灰分和温度因素能使介电损耗因数升高,冻结试样的介电活性较低,在高于-20~-10℃的温度范围介电活性随灰分的增加有所升高。Sipahioglu对火鸡肉的介电特性也进行了研究,他在水分活度0.84~0.98的范围,在2450 MHz和915 MHz两个频率下进行研究,结果意外发现当水分活度降低或灰分升高时,介电常数随温度的升高而升高;失水样品的介电损耗因数由水分含量决定,而不是灰分;理论上温度对介电常数的影响是结合水转化为自由水的比率;实验结果表明,丙三醇并不影响介电特性,但乳酸在蛋白质变性过程中能够加速样品的失水从而会影响介电特性<sup>[17~19]</sup>。Guan.D(2004)等人在对糊状马铃薯进行频率1~1800 MHz,温度20~120℃灭菌研究时发现马铃薯的介电特性与微波加热灭菌和射频加热灭菌有关,在水分含量81.6%~87.8%,盐含量0.8%~2.8%条件下进行研究发现,介电损耗因数和介电常数分别随着频率升高而降低,损耗因数随温度和

盐度的升高而上升,但介电常数受温度和盐度的影响并不显著。在低频范围,离子的传导性起支配作用,能量穿透深度随着水分含量升高而增加,随着温度、频率和盐度的升高而下降<sup>[20]</sup>。

## 2.2 国内的研究进展

国内对食品物料的介电特性研究尚处于起步阶段,胥芳(1997)通过对桃子的介电研究发现,桃子的阻抗随成熟度提高而增大,在完全成熟时果肉阻抗达最大值,随之又逐渐下降,利用该特性研制的桃子成熟度检测仪要比用果实大小和色泽方法检验不仅更可靠,而且可为果实的收获和贮藏设备直接提供成熟度的定量指标<sup>[21]</sup>,并讨论了在低频段(0.1~100 kHz)内苹果和梨等水果介电特性参数的频率特征,研究了水果品质与介电特性参数之间的关系,提出了基于介电特性参数无损检测的水果品质自动分选系统分类阈值的确定方法<sup>[2]</sup>。张立彬(2000)首次提出在低频段利用水果介电特性进行水果内部品质检测的新技术,并将该技术应用于水果内部品质的自动分选系统中<sup>[22]</sup>。郭文川等(2002, 2005)在4 KHz~20 KHz的频段内,利用介质损耗因数来区分西红柿成熟度,从而达到对西红柿分级的目的<sup>[23,24]</sup>。他对苹果、梨和猕猴桃介电参数的电压特性进行了测定,结果表明,信号频率一定时,果品介电参数值随信号电压而变,且存在电压临界值,当信号电压小于该临界值时,电容和损耗角正切值保持不变;当信号电压大于临界值时,电容值随电压的增加呈反比减小,损耗角正切值随电压的增加呈正比增大。秦文(2005)研究蔬菜物料介电物性及水分含量变化规律的相关性,发现电容值变化趋势与水分变化相同,两者存在极显著的线性相关性,水分的变化规律可以用相对应点的电容的变化来说明,从而对干燥终点的非破坏性及连续性检测和控制成为可能<sup>[25]</sup>。

## 3 结束语

食品物料的外形尺寸和生理变化的复杂性使得介电特性应用受到一定的限制,通过选取恰当的频率范围,对食品原料进行预分级,再经过筛选,从而实现食品物料品质的在线无损检测,其应用前景非常广阔。

## 参考文献

- [1] 坎杂等.介电性的研究与应用[J].中国农机化.2004,(4):39-41
- [2] 胥芳,计时鸣,等.水果电特性的无损检测在水果分选中的应用[J].农业机械学报.2002,33{2}: 53-60

- [3] McLendon B. Derrell and R.H.Brown. Dielectric Properties of Peaches as a Maturity Index. ASAE paper, No 71-332. St. Joseph, Mich, 49085,1971
- [4] Nelson.S.O, Forbes. W.R.Lawrence.K.C, Microwave permittivities of fresh fruits and vegetables from 0.2 to 20GHz [J].Trans. ASAE, 1993,37 (1):183-189
- [5] Nelson.S.O, Forbes. W.R.Lawrence.K, Permittivities of Fresh Fruits and Vegetable at 0.2 to 20GHz[J].Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1994, 29(2): 81-93
- [6] 加藤宏郎,高周波.インピヘダンスによる农産物の非破壊鮮度判定(第1报)[J].农业机械学会誌,1988, 50 (6):99
- [7] 加藤宏郎,高周波.インピヘダンスによる农産物の非破壊鮮度判定(第2报)[J].农业机械学会誌,1989,51(5):55~61
- [8] 杉山纯一.食品の电气的特性と品质评价(その1、その2).日本食品工业学会志. 1988, 35 (9): 647- 653; 1988, 35 (10): 717-722
- [9] Tong C.H, Lentz, RR and Rossen JL. Dielectric Properties of Pea Puree at 915 MHz and 2450 MHz as a Function of Temperature[J]. J Food Sci, 1994, 59(1): 121-134
- [10] Rynänen.S. The Electromagnetic Properties of Food Materials: A Review of the Basic Principles[J]. Journal of Food Engineering 1995, 26: 409-429
- [11] Goedeken DL, Tong CH, Virtanen AJ. Dielectric Properties of a Pregelatinized Bread System at 2450 MHz as a Function of Temperature, Moisture, Salt and Specific Volume [J]. J Food Sci, 1997, 62(1):145-149
- [12] Zheng M, Huang YW, et al. Dielectric Properties and Thermal Conductivity of Marinated Shrimp and Channel Catfish [J]. J Food Sci, 1998, 63(4): 668-672
- [13] Bircan C, Barringer S.A. Determination of Protein Denaturation of Muscle Foods Using the Dielectric Properties[J]. J Food Sci, 2002, 67(1): 202-205
- [14] C. Inoue, Y. Hagura, et al. The Dielectric Property of Soybean Oil in Deep-Fat Frying and the Effect of Frequency [J]. J Food Sci, 2002, 67(3):1126-1129
- [15] Yaghmaee P, Durance TD. Predictive Equations for Dielectric Properties of NaCl, D-sorbitol and Sucrose Solutions and Surimi at 2450 MHz [J]. J Food Sci,2002, 67(6): 2207-2211
- [16] Miura N, Yagihara S, et al. Microwave Dielectric Properties of Solid and Liquid Foods Investigated by Time-domain Reflectometry[J]. J Food Sci,2003,68(4): 1396-1403

(下转第 99 页)