

水和盐对猪里脊肉糜介电特性的影响

郭文川, 谷洪超, 吕俊峰

(西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 应用网络分析仪和同轴探头技术, 研究室温(25℃)下 10~4500MHz 频段内 0%~20% 的加水率和 0%~4% 的加盐率对新鲜猪里脊肉糜射频和微波介电特性的影响。研究结果表明, 肉的相对介电常数随着频率的增大而减小; 介质损耗因子在约 2500MHz 时出现最小值。相同条件下肉的相对介电常数和介质损耗因子随加水率的增加而增大。整个频段内, 介质损耗因子随加盐率的增加线性增加, 当频率大于约 200MHz 时, 相对介电常数随盐量的增加而减小。加水率和加盐率分别对相对介电常数和介质损耗因子有明显的影响, 且其间的线性决定系数大于 0.98。

关键词: 猪肉; 盐; 水; 相对介电常数; 介质损耗因子

Effects of Water and Salt on Dielectric Properties of Minced Pork Loin

GUO Wen-chuan, GU Hong-chao, LÜ Jun-feng

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The network analyzer and open-ended coaxial-line probe technology were used to study the influence of addition of water (0 — 20%) and salt (0 — 4%) on the dielectric properties of minced pork loin within the frequency range from 10 to 4500MHz at 25 °C. The results showed that the relative dielectric constant of pork was decreased with increasing frequency, and the dielectric loss factor reached a minimum at 2500MHz. The dielectric constant and loss factor increased with increased water addition ratio. The loss factor increased linearly with the elevating salt addition over the whole frequency range. The dielectric constant decreased with increasing salt addition ratio when frequency was higher than 200MHz. Significant influences of water and salt were observed effect on the dielectric constant and loss factor. Moreover, the coefficients of determination between permittivities and water addition and salt addition were higher than 0.98, respectively.

Key words: minced pork loin; salt; water; relative dielectric constant; dielectric loss factor

中图分类号: S183; S377

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)23-0171-05

随着人们生活水平的日益提高, 食品安全问题成为社会关注的热点。肉类是主要的食品, 我国是生产畜禽肉类及其产品的大国之一。据 2008 年中华人民共和国统计年鉴, 2007 年我国猪肉生产量为 4287.8 万 t^[1], 生产量和消费量均居世界之首。而面对频繁曝光的注水肉、瘦肉精等肉制品安全事件, 人们对肉品消费保持谨慎的态度。为给消费者提供“放心肉”、“安全肉”, 除了提高饲养者和生产者的道德素质, 从饲养、生产源头上保障为社会生产安全的肉, 杜绝不符合卫生指标的肉进入市场外, 还必须做好在肉流入市场之前的检疫工作。因此, 生肉检测技术的研究和开发一直是个重要的课题。

介电特性描述了处于电磁场中的物质与电磁波相互

作用的介电行为。在科研工作者对食品射频或微波介电特性的不断研究中, 发现除了测试信号的频率和样品温度影响介电特性外, 食品中的主要成分, 例如水^[2-4]、盐^[4-5]、可溶性固形物的含量^[6-8]等也影响介电特性。在肉制品介电特性的研究方面, Zhang 等^[9]、Sipahioglu 等^[10]、何天宝等^[11]和 Zhuang 等^[12]分别研究了温度对午餐猪肉卷、火腿肉、鱼肉、鸡肉等介电特性的影响。Kent 等^[13-15]先后以鸡肉、扇贝、猪肉等为对象, 通过将肉浸泡在水中不同时间而获得不同含水率的方法, 研究了水对肉介电特性的影响, Tanaka 等^[16]以鸡肉, Lyng 等^[17]和 Zhang 等^[18]以猪肉为实验对象, 研究了盐对肉相对介电常数和介质损耗因子的影响。除此之外, Zhang 等^[18]和 Gunasekaran 等^[19]分别研究了脂肪含量对牛肉和猪

收稿日期: 2009-01-06

作者简介: 郭文川(1969—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为农产品和食品介电特性。E-mail: guowenchuan69@126.com

肉介电特性的影响。国外在生肉以及肉制品介电特性,尤其是微波介电特性方面进行了一定的研究,但尚未探讨肉的介电参数值与水和盐含量之间的函数关系,而国内在肉的射频和微波介电特性研究方面几乎是空白。为此,本实验采用国际流行的同轴探头技术,以新鲜的猪里脊肉为对象,通过给搅碎的肉糜中加水和加盐的方法,研究水和盐对猪肉介电特性的影响,分析介电特性变化原因,探索介电参数和加水率以及加盐率之间的相关性,旨在为新型生肉品质检测仪的开发提供实验基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

排酸后的新鲜猪里脊肉(实验前、分别采用烘干法、凯氏定氮法(GB/T6432—94)和索氏提取法(GB/T6433—94)测得所用样品中水分、粗蛋白和粗脂肪的含量分别为73.32、21.66、4.08g/100g) 杨凌本香集团;食用碘盐 陕西省盐业总公司。

1.2 仪器与设备

E5071C 矢量网络分析仪、85070B 末端开路同轴探头、85070D 测试软件 美国 Agilent 公司; FA2104A 电子天平(精度 0.0001g) 上海精密科学仪器有限公司; JA-6 型绞肉机 北京利任科技有限公司。

1.3 介电特性的测试

由 E5071C 矢量网络分析仪及 85070B 末端开路同轴探头、85070D 测试软件和计算机组成同轴探头测试系统。开机预热 1h 后,用开路、短路和 50Ω 匹配阻抗校准实验中所用网络分析仪的端口,接着利用开路、短路和 25℃ 的去离子水校准同轴探头。测量频率范围为 10~4500MHz,线性采样点为 201 个。测量时,将盛有样品的烧杯置于探头下,让探头与样品充分且紧密接触,通过网络分析仪采集数据,由测试软件计算介电参数和频率的关系。本实验以相对介电常数(ϵ_r')和介质损耗因子(ϵ_r'')反映物质的介电特性。实验期间的环境温度控制在 25℃。当天不能测试的样品用食用保鲜袋密封后冷藏于 4℃ 的恒温箱中,实验前将其取出,置于室温 1~2h 使其温度回升至室温。期间用玻璃板搅拌样品使其温度均匀,同时用玻璃温度计检测温度。

1.4 实验步骤

首先将里脊肉放入绞肉机中反复绞 5 次,制备成大小比较均匀的里脊肉糜。然后,用电子天平称取 13g 左右的肉糜多份,分别添加一定质量的去离子水或食盐,制备加水率分别为 5%、10%、15% 和 20% 和加盐率分别为 1%、2%、3% 和 4% 的里脊肉糜各 2 份。将加入的去离子水或盐与肉糜充分搅拌至混合均匀后,放于 10ml 的烧杯中,整平表面后放于直径 60mm 的平台上,提升平台高度,使同轴探头表面和肉紧密接触,然后

用网络分析仪测试样品的介电参数。测试完后,用玻璃棒重新搅匀,再整平表面重复测量,每份样品重复 2 次。2 份样品 4 次测量结果的平均值作为本样品的测试结果。

1.5 数据处理

以各参数多次重复的平均值作为测量结果,用 Excel 对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 频率对新鲜猪里脊肉糜介电参数的影响

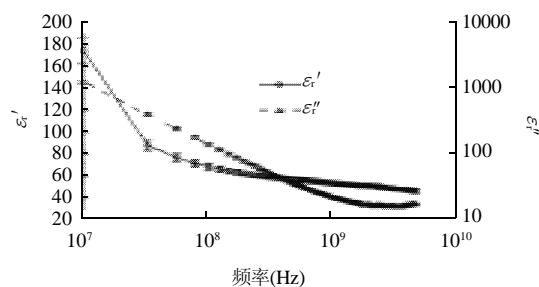


图1 频率对新鲜猪里脊肉糜介电参数的影响

Fig.1 Effect of frequency on permittivities of fresh minced pork loin

由图1可知,随着频率(f)的增加,里脊肉的 ϵ_r' 单调减小,且低频段下减小迅速。而在对数-对数坐标中, ϵ_r'' 先随着频率的增大线性减小,在约 2500MHz 时,达到最小值,随后,随着频率的增大缓慢增大。 $\lg f$ 与 $\lg \epsilon_r''$ 在 1000MHz 以下呈现明显的负线性关系,其拟合关系为:

$$\lg \epsilon_r'' = -0.8833 \lg f + 9.2189 (R^2 = 0.999) \quad (1)$$

根据介电损耗理论,离子的电导性和偶极子的极化是射频(300kHz~300MHz 之间的电磁波)和微波(300MHz~300GHz 之间的电磁波)频段引起湿性食品中介电损耗的主要原因^[20]。离子的电导性主要表现在射频,而且使得频率的对数和介质损耗因子的对数间呈现负线性关系,这种现象也发现于其他湿性食品中^[6-7,21-22]。随着频率的增大,偶极子的极化成为介电损耗的主要原因。水分子是典型的偶极子,也是湿性食品中的主要组成部分,因此,水的介电行为决定了湿性食品的介电特性。Kaatz^[23]的研究表明,20℃下,水的特征频率,即为最大值时的频率,为 19.2GHz。而肉中的主要成分是水,另外,特征频率会随着分子量的增大而减小,因此,肉的特征频率应该在 19.2GHz 附近,且小于该值。

2.2 水对猪里脊肉糜介电特性的影响

图2和图3分别给出了 100~4500MHz 间和 4000~

4500MHz 间加水率对室温下新鲜猪里脊肉 ε_r' 和 ε_r'' 平均值的影响。

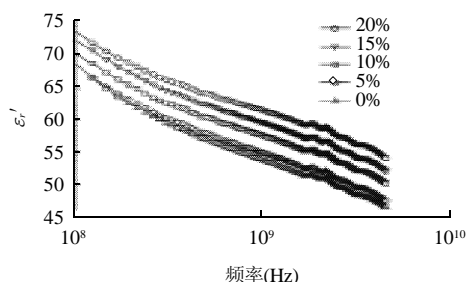


图2 100~4500MHz 间, 不同加水率对 25℃下新鲜猪里脊肉糜相对介电常数频率特性的影响

Fig.2 Effect of water addition on the frequency dependence of relative dielectric constant of fresh minced pork loin from 100-4500 MHz at 25°C

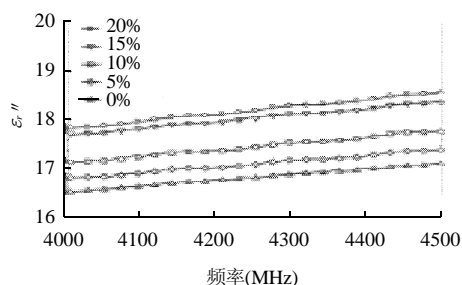


图3 4000~4500MHz 间加水率对室温下新鲜猪里脊肉糜介质损耗因子频率特性的影响

Fig.3 Effect of water addition ratio on the frequency dependence of dielectric loss factor of fresh minced pork loin from 4000-4500 MHz at 25°C

由图 2、3 可知, 同频率下, ε_r' 和 ε_r'' 均随着肉中加水率的增加而增大, 例如 4500MHz 下, 当加水率(W_c)从 0% 增加到 20% 时, ε_r' 和 ε_r'' 分别从 46.7 和 17.1 升高到 54.8 和 18.8。 ε_r' 表现出电容的特性, 反映了物质储存电磁能的能力。肉中水分含量的增加, 使得电容特性增强, 反映在 ε_r' 增加。而水的加入, 使得偶极子的含量增加, 极化能力增大, 因而 ε_r'' 也随加水率的增大略有增大。

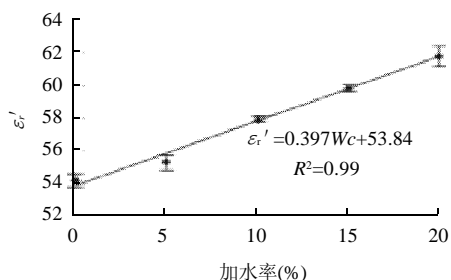


图4 25℃ 915MHz 下新鲜猪里脊肉糜的相对介电常数和加水率的关系
Fig.4 Relationship between relative dielectric constant of fresh minced pork loin and water addition at 915 MHz and 25°C

为了探索介电参数与加水率的关系, 对 10~4500MHz 范围内, 201 个频率点下里脊肉糜的 ε_r' 和 ε_r'' 分别与加水率 W_c 的关系进行了线性拟合。图 4 给出了 25℃ 915MHz 下, 新鲜猪里脊肉的平均值和加水率的关系。由图可以看出, ε_r' 和 W_c 具有非常好的线性相关性, 其决定系数为 0.99。对其他点下的拟合结果表明, 200~4500MHz 间, ε_r' 和 W_c 的决定系数 $R^2 \geq 0.98$; 3500~4500MHz 的范围内, ε_r'' 与 W_c 的决定系数 $R^2 \geq 0.95$ 。从 ε_r' 和 ε_r'' 分别与 W_c 的决定系数以及介电参数值的变化上, 可以推断水对湿性食品 ε_r' 的影响比对 ε_r'' 的影响明显。表 1 给出了常用的微波加热频率 915、2450MHz, 以及 200、4500MHz 下猪里脊肉糜的介电参数和加水率的线性拟合关系式及决定系数。

表1 25℃某些频率点下新鲜猪里脊肉糜的介电参数和加水率的关系
Table 1 The correlation between permittivities of fresh minced pork loin and water addition at designated frequencies at 25°C

频率(MHz)	关系式	R^2
200	$\varepsilon_r' = 0.339W_c + 61.54$	0.98
915	$\varepsilon_r' = 0.397W_c + 53.84$	0.99
2450	$\varepsilon_r' = 0.401W_c + 49.54$	0.99
	$\varepsilon_r'' = 0.038W_c + 16.05$	0.84
4500	$\varepsilon_r' = 0.390W_c + 46.23$	0.99
	$\varepsilon_r'' = 0.077W_c + 17.08$	0.98

2.3 盐对里脊肉介电特性的影响

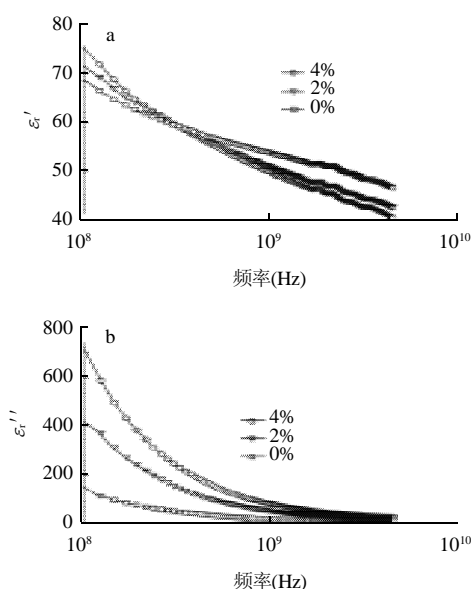


图5 100~4500MHz 间, 加盐率对室温下新鲜猪里脊肉糜介电参数频率特性的影响

Fig.5 The influence of salt addition on the frequency dependence of permittivity of fresh minced pork loin from 100 - 4500 MHz at 25°C

图5给出了100~4500MHz间0%、2%、4%的加盐率(Sc)对室温下新鲜猪里脊肉介电参数的影响。由图5可以看出,盐对里脊肉介电参数的影响主要表现在两个方面。一方面是对介电参数频率特性的影响。肉中加盐后,介电参数随频率的增大迅速减小,且加盐量愈多,减小愈快。例如,未加盐里脊肉的 ε_r' 从100MHz下的68.5减小到4500MHz下的46.6, ε_r'' 从141.5减小到17.1;而加盐量4%的里脊肉的 ε_r' 从75.7减小到40.3, ε_r'' 从717.6减小到28.4。另一方面盐影响介电参数的值,当频率小于约200MHz时, ε_r' 随着含盐量的增加而增加;当大于200MHz时,却随含盐量的增加而减小。例如100MHz下, ε_r' 从未加盐时的68.7增加到加盐4%时的74.9,而915MHz下, ε_r' 却从54.17减小到50.27。相同条件下, ε_r'' 随含盐量的增加而增加,且频率越低,增加越多。例如,100MHz和915MHz时, ε_r'' 分别从未加盐时的141.0和23.1增加到加盐4%时的720.8和89.4。由此可见,盐对湿性食品 ε_r'' 的影响比对 ε_r' 的影响更明显。

盐对介电参数的影响主要是由于盐的加入使湿性食品中的离子浓度增加,从而使导电性能增大。盐对食品介电参数的影响也发现于其他食品中。例如,30℃,2450MHz下,未加盐黄油的 $\varepsilon_r' = 24.5$, $\varepsilon_r'' = 4.3$,而加盐(NaCl)0.60gNa+/100g黄油的 $\varepsilon_r' = 9.0$, $\varepsilon_r'' = 15.5^{[5]}$ 。在鸡肉^[16],猪肉^[17-18]中加入盐后,也发现随着食品中含盐量的增加,微波频段下的 ε_r' 逐渐减小,而 ε_r'' 逐渐增大。

对10~4500MHz范围内201个点下,加盐猪里脊肉的 ε_r' 和 ε_r'' 分别与加盐率Sc进行了线性拟合,发现在整个频率范围内 ε_r' 与Sc的线性决定系数 $R^2 \geq 0.85$,部分频率下超过0.99, ε_r'' 与Sc的线性决定系数 $R^2 \geq 0.99$ 。表2给出了个别频率下里脊肉的介电参数和加盐率的线性拟合关系式及决定系数。

表2 25℃某些频率点下新鲜猪里脊肉糜的介电参数和加盐率的关系
Table 2 The correlation between permittivities of fresh minced pork loin and salt addition at designated frequencies at 25℃

频率(MHz)	关系式	R^2
10	$\varepsilon_r' = 95.514Sc + 167.44$	0.99
	$\varepsilon_r'' = 1480.6Sc + 1340.4$	0.99
915	$\varepsilon_r' = -0.891Sc + 53.45$	0.85
	$\varepsilon_r'' = 17.179Sc + 24.165$	0.99
2450	$\varepsilon_r' = -1.422Sc + 49.05$	0.92
	$\varepsilon_r'' = 6.204Sc + 16.57$	0.99
4500	$\varepsilon_r' = -1.548Sc + 45.86$	0.93
	$\varepsilon_r'' = 2.910Sc + 17.33$	0.99

3 结 论

本实验研究了10~4500MHz间加水率和加盐率对新鲜猪里脊肉介电特性的影响,研究结果表明:

猪里脊肉的 ε_r' 随频率的增大而减小,低频下减小迅速;在约2500MHz时, ε_r'' 出现最小值;1000MHz以下时, $\lg \varepsilon_r'$ 和 $\lg f$ 呈负的线性相关性。

相同条件下, ε_r' 和 ε_r'' 均随着肉中加水率(0%~20%)的增加而增大,在200~4500MHz的范围内, ε_r' 和加水率的线性 $R^2 \geq 0.98$;在3500~4500MHz的范围内, ε_r'' 与加水率的线性 $R^2 \geq 0.95$ 。

盐使得肉的介电参数值随频率的增大迅速减小,且加盐量(0%~4%)愈多,减小愈快。当频率大于约200MHz, ε_r' 随加盐率的增加而减小,整个频段内 ε_r'' 与加盐率呈正线性相关, ε_r' 和 ε_r'' 分别与加盐率的线性决定系数大于0.85和0.99。

水对里脊肉的 ε_r' 有非常明显的影响,而盐对 ε_r'' 有显著的影响。

本实验有助于了解水和盐对猪肉介电特性的影响,为进一步研究肉质对介电特性的影响以及基于介电特性的新型肉品质检测仪的开发提供参考。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局. 2008年中国统计年鉴[M/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>.
- [2] SHARMA G P, PRASAD S. Dielectric properties of garlic (*Allium sativum* L.) at 2450 MHz as function of temperature and moisture content [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52: 343-348.
- [3] NUNES A C, BOHIGAS X, TEJADA J. Dielectric study of milk for frequencies between 1 and 20 MHz[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76:250-255.
- [4] FAGAN C C, EVERARD C, O'DONNELL C P, et al. Predication of inorganic salt and moisture content of process cheese using dielectric spectroscopy[J]. International Journal of Food Properties, 2005, 8(3): 543-557.
- [5] AHMED J, RAMASWAMY H S, RAGHAVAN V G S. Dielectric properties of butter in the MW frequency range as affected by salt and temperature[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(3): 351-358.
- [6] 郭文川, NELSON S O, TRABELSI S, et al. 蜜瓜和西瓜果汁的射频介电特性及其与糖度的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 289-292.
- [7] GUO W C, NELSON S O, TRABELSI S, et al. Dielectric properties of honeydew melons and correlation with quality[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 2007, 41(2):48-58.
- [8] NELSON S O, TRABELSI S, KAYS S J. Dielectric spectroscopy of honeydew melons from 10 MHz to 1.8 MHz for quality sensing[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(6): 1977-1981.
- [9] ZHANG L, LYNG J G, BRUNTON N, et al. Dielectric and thermophysical properties of meat batters over a temperature range of 5-85℃[J]. Meat Science, 2004, 68(2): 173-184.
- [10] SIPAHIOGLU O, BARRINGER S, TAUB I, et al. Modeling the dielectric properties of ham as a function of temperature and composition[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(3): 904-909.
- [11] 何天宝, 程裕东. 温度和频率对鱼糜介电特性的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 1-6.

- 2005, 29(2): 252-257.
- [12] ZHUANG H, NELSON S O, TRABELSI S, et al. Dielectric properties of uncooked chicken breast muscles from ten to one thousand eight hundred megahertz[J]. Poultry Science, 2007, 86: 2433-2440.
- [13] KENT M, ANDERSON D. Dielectric studies of added water in poultry meat and scallops[J]. Journal of Food Engineering, 1996, 28: 239-259.
- [14] KENT M, KNOCHEL R, DASCHER F, et al. Composition of foods including added water using microwave dielectric spectra[J]. Food Control, 2001, 12(7): 467-482.
- [15] KENT M, PEYMAN A, GABRIEL C, et al. Determination of added water in pork products using microwave dielectric spectroscopy[J]. Food Control, 2002, 13(3): 143-149.
- [16] TANAKA F, MALLIKARJUNAN P, KIM C, et al. Measurement of dielectric properties of chicken breast meat[J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, 62(4): 109-119.
- [17] LYNG J G, ZHANG L, BRUNTON N P. A survey of the dielectric properties of meats and ingredients used in meat product manufacture[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 589-602.
- [18] ZHANG L, LYNG J G, BRUNTON N P. The effect of fat, water and salt on the thermal and dielectric properties of meat batter and its temperature following microwave or radio frequency heating[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 142-151.
- [19] GUNASEKARAN N, MALLIKARJUNAN P, EIFERT J, et al. Effect of fat content and temperature on dielectric properties of ground beef[J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(2): 673-680.
- [20] RYNNEN S. The electromagnetic properties of food materials: a review of the basic principles[J]. Journal of Food Engineering, 1995, 26(4): 409-429.
- [21] GUO W, TRABELSI S, NELSON S O, et al. Storage effects on dielectric properties of eggs from 10 to 1800 MHz[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(5): 335-340.
- [22] NELSON S O. Dielectric spectroscopy of fresh fruit and vegetable tissues from 10 to 1800 MHz[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 2005, 40(1): 31-47.
- [23] KAATZE U. Complex permittivity of water as a function of frequency and temperature[J]. Journal of Chemical Engineering Data, 1989, 34(4): 371-374.