

网络出版时间:2013-08-26 17:53

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130826.1753.021.html>

新鲜鸭蛋与咸蛋特征介电参数的提取

曹旭东^a, 刘亚龙^a, 唐 燕^b, 杜光源^a, 景晨娟^a, 张继澍^b

(西北农林科技大学 ^a理学院, ^b生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**用非破坏性手段提取新鲜鸭蛋与咸蛋的特征介电参数, 为实现咸蛋腌制进度的动态、无损检测提供参考。**【方法】**以新鲜鸭蛋和市售咸蛋为材料, 用电子天平、游标卡尺测定对比二者在质量、蛋形指数、蛋黄指数等方面的差异; 用日置智能 3532-50 型 LCR 数字测试仪在测试频段(500~5 000 000 Hz)内以对数形式取 41 个频率点, 测定并绘制新鲜鸭蛋和咸蛋的介电参数与测试频率的关系曲线, 通过介电参数与频率的相关分析, 筛选可以区分二者的特征介电参数。**【结果】**新鲜鸭蛋和市售咸蛋的介电参数均与测试频率显著相关($P < 0.05$), 新鲜鸭蛋和市售咸蛋的相对介电常数 ϵ' 在 500~5 000 000 Hz 测试频段内有极显著差异($P < 0.01$); 二者的损耗因子 D 的相对误差较大, 复阻抗 Z 无显著差异。**【结论】**相对介电常数 ϵ' 可以作为区分新鲜鸭蛋和市售咸蛋的特征介电参数, 其最适测试频率为 200 000~2 000 000 Hz。

[关键词] 咸蛋; 介电特性; 特征介电参数; 无损检测

[中图分类号] TS253.7

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)09-0145-06

Characteristic dielectric parameters of fresh and salted duck eggs

CAO Xu-dong^a, LIU Ya-long^a, TANG Yan^b, DU Guang-yuan^a,

JING Chen-juan^a, ZHANG Ji-shu^b

(^a College of Sciences, ^b College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**The study was to extract characteristic dielectric parameters of fresh and salted duck eggs to improve the monitor of duck eggs salting process. **【Method】**Using fresh and salted duck eggs as test materials, their differences in egg weights (weighed by electronic balance), egg shape indexes (measured by caliper), egg yolk indexes (measured by caliper) and dielectric parameters (measured by HIOKI 3532-50 LCR HiTESTER) were analyzed comparatively. Within the entire test frequency range (500—5 000 000 Hz), 41 frequency points in logarithmic form were selected, the relation curves between dielectric parameters and frequencies were obtained to analyze the differences in characteristic parameters. **【Result】**The dielectric parameters and testing frequencies were significantly correlated both in fresh and salted duck eggs. Within the entire test frequency range (500—5 000 000 Hz), there were very significant differences between the relative dielectric constant ϵ' ; whereas the loss coefficient D showed large relative error. Due to no significant difference, complex impedance Z was not used. **【Conclusion】**The relative dielectric constant ϵ' could be used as characteristic dielectric parameter to distinguish fresh and salted duck eggs, and the optimum frequency range was 200 000—2 000 000 Hz.

Key words: salted duck egg; dielectric properties; characteristic dielectric parameter; non-destructive

[收稿日期] 2012-11-20

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30471001); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31201122)

[作者简介] 曹旭东(1983—), 男, 河南巩义人, 讲师, 在读硕士, 主要从事环境生物物理研究。E-mail: caoxudong2002@126.com

[通信作者] 刘亚龙(1964—), 男, 山西洪洞人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事环境生物物理研究。

E-mail: liuyalong@nwsuaf.edu.cn

monitoring

食品与农产品质量的无损检测,由于在不破坏待测物原状态及物理化学等性质的前提下即可获得与待测物品质有关的内容、性质或成分等物理、化学信息,近年来受到众多研究者的关注^[1]。与传统化学分析检测方法相比,无损检测具有快速、经济、无损伤以及可实现在线检测等优点。基于介电特性的无损检测,是将待测物置于外部电磁场内,测量其对电磁场能量的反馈,间接获得待测物物理结构或化学成分的改变情况。Briggs 等^[2]在 20 世纪初研究发现,水分含量与介电参数之间存在相关性,提出测量小麦种子的电阻用以反映其水分含量。谷物种子的介电特性研究在 20 世纪的六、七十年代达到高潮,相关的测试仪器也陆续问世^[3]。自 20 世纪 70 年代开始,生物材料介电特性的研究范围拓展至水果和蔬菜。由于果蔬容易切片,局部和整体的研究成果相得益彰^[4]。本课题组先后对番茄^[5]、柿^[6]、苹果^[7]、红巴梨^[8]、桃^[9]等果蔬的介电特性进行了研究,探讨了这些材料的新鲜度、成熟度以及品质等生理指标与其介电参数的关系。

禽蛋是一种重要的农产品和食品,除小部分用于孵化繁殖外,大多数则被加工食用。一般情况下,禽蛋的保质期很短,室温下只须几天品质即急剧下降^[10-11]。通过盐腌制而成的咸蛋可显著延长其可食用期。中式传统蛋制品现代化生产技术研究曾被列为我国蛋品行业“十一五”期间优先发展领域与重大关键技术之一^[12],而其现代化的步伐受到落后检测手段的制约。对于腌制食品腌制程度的检测目前多采用化学分析方法,而有关无损检测的研究尚比较罕见^[13],尚未见关于利用介电特性进行咸蛋腌制程度无损检测的报道。本研究以陕西杨凌当地某品种新鲜鸭蛋和市售某品牌咸蛋为材料,对比二者在质量、蛋形指数、蛋黄指数以及介电特性等方面的差异,探讨基于介电特性的咸蛋品质无损检测方法的可行性,旨在为实现咸蛋腌制进度的动态、无损检测奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材 料

新鲜鸭蛋(FDE),市售,蛋体无裂纹,蛋龄小于 3 d,蛋鲜质量 62~76 g;咸蛋(SDE),市售,当地腌制生咸鸭蛋,蛋鲜质量 62~77 g,抽样食用未见异常。

随机选取新鲜鸭蛋与市售咸蛋各 36 个,分为 2 组:1 组用于各自质量、蛋形指数及蛋黄指数的测定;另 1 组用于介电参数的测定。

1.2 仪器与设备

LCR 数字测试仪(3532-50 型),日本日置公司;电子天平(JA2003N 型),上海精科天美天平厂;游标卡尺(川制 01000101),成都成量工具集团有限公司。

1.3 蛋体指标的测定

蛋质量用电子天平测定;蛋形指数用游标卡尺测定;蛋形指数=横轴长度/纵轴长度;蛋黄指数用游标卡尺测定;蛋黄指数=蛋黄高度/蛋黄直径。每个样品测量 3 次,取平均值作为该样品的测量值。

1.4 介电参数的测定

采用日置智能 3532-50 型 LCR 数字测试仪测试样品介电参数^[8]。本研究主要测试的介电参数包括:相对介电常数(Relative dielectric constant, ϵ'_r)、损耗因数(Loss coefficient, D)和复阻抗(Complex impedance, Z)。测试夹具为仪器自带的 9140-4 终端测试夹具^[14],检测系统如图 1 所示。测试的频率(f)为 500~5 000 000 Hz,以对数形式取 41 个频率点。为保证样品最大限度充满极板,试验采用纵向(即蛋短径)夹持鸭蛋,鸭蛋纵径(44.01 ± 3.05) mm;测试时将样品夹于平行板之间,各样品保持同一测量方向;为保持良好接触且不破坏样品,试验时加恒定 1 N 夹持压力(外加重物提供)。测试电压 1 V,试验温度(21 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 。

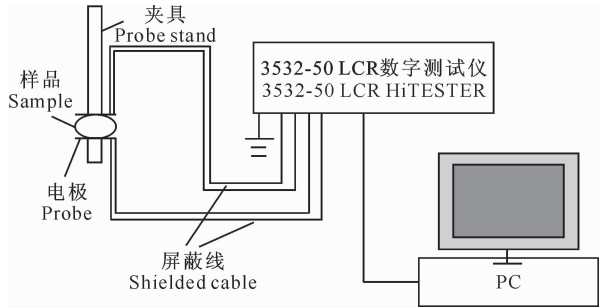


图 1 鸭蛋介电特性检测系统示意图
Fig. 1 Diagram of the dielectric properties testing system for duck eggs

1.5 数据处理

使用 EXCEL 进行数据记录,利用 SPSS 19.0 进行相关性及方差分析。

2 结果与分析

2.1 新鲜鸭蛋与市售咸蛋的外观物理特性比较

新鲜鸭蛋与咸蛋在内部结构与组分上的显著差异,决定了其明显不同的风味:新鲜鸭蛋蛋白和蛋黄略有腥味,无明显咸味,蛋黄无出油现象;咸蛋蛋白较咸,蛋黄咸度适中,伴有明显出油现象。为定量比较新鲜鸭蛋与咸蛋的差别,分别测量其质量、蛋形指数及蛋黄指数,结果见表 1。由表 1 可以看出,新鲜

鸭蛋与咸蛋的质量及蛋形指数均无显著差异。表明,无法通过称量质量和对比外形对二者加以区分。

由表 1 还可以看出,新鲜鸭蛋和咸鸭蛋的蛋黄指数有显著差异($P<0.05$),因此可以利用蛋黄指数的差别对二者进行区分。咸蛋的蛋黄指数约为新鲜鸭蛋的 2 倍,显著高于新鲜鸭蛋,这是盐腌制作用的结果。在实际生产中,蛋黄指数常作为腌制咸蛋品质的一个重要评价指标^[15]。

表 1 新鲜鸭蛋和市售咸蛋的外观物理特性

Table 1 Physical index of FDE and SDE

类别 Type	质量/g Egg weight	蛋形指数 Egg shape index	蛋黄指数 Yolk index
新鲜鸭蛋 FDE	68.632±3.186 a	1.383±0.051 a	0.380±0.014 a
咸蛋 SDE	69.131±4.001 a	1.403±0.065 a	0.761±0.011 b

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$);下同。
Note:Lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 新鲜鸭蛋与市售咸蛋的介电特性比较

为尝试利用介电特性无损检测新鲜鸭蛋与咸鸭蛋的差异,本研究分别对新鲜鸭蛋和市售咸蛋进行

介电特性测试。在所测频率范围(500~5 000 000 Hz)内,相对介电常数 ϵ'_r 、损耗因数 D 及复阻抗 Z 随频率(对数形式)的变化规律如图 2 所示。

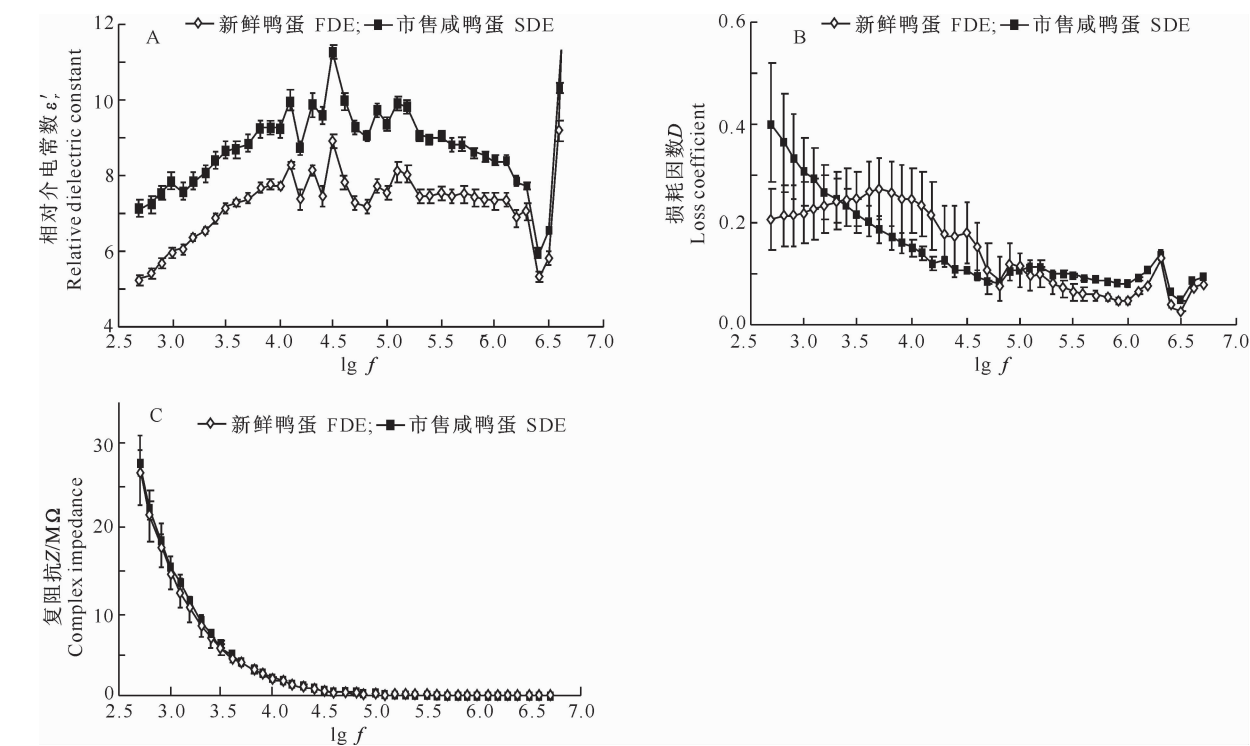


图 2 新鲜鸭蛋和市售咸蛋介电参数随测试频率(对数)的变化
Fig.2 Changes of dielectric properties of FDE and SDE

相对介电常数 ϵ'_r 是材料的介电常数(Dielectric constant, ϵ'_r)与真空介电常数(Vacuum permittivity, ϵ_0)的比值,其数值越大,表示材料对电能的储存能力越强。从图 2-A 可以看出,新鲜鸭蛋与市售咸蛋的 ϵ'_r 随测试频率的增大呈现先增加后减小的趋

势,至 2 500 000 Hz 左右又转而急剧增加。在所测频率范围内,新鲜鸭蛋的 ϵ'_r 均小于咸蛋,且差异极显著($P<0.01$)。

损耗因数 D 无量纲,其数值越大,表示材料对电能的损耗能力越大。从图 2-B 可以看出,新鲜鸭

蛋和市售咸蛋 D 随测试频率的增大呈复杂的振荡式变化。在所测频率范围内,低频率下的 D 值较高,高频率下的 D 值较低,新鲜鸭蛋和咸蛋 D 值的极大值($D_{\max}$)和极小值($D_{\min}$)分别为 0.269,0.028 和 0.402,0.050。二者的 D 值曲线在所测频率范围内有 2 次交叉,低频率段($f < 2\,000\text{ Hz}$)和高频率段($f > 100\,000\text{ Hz}$)新鲜鸭蛋 D 值小于咸蛋,中频率段($2\,000\text{ Hz} \leq f \leq 100\,000\text{ Hz}$)新鲜鸭蛋 D 值大于咸蛋。损耗因数 D 的变化幅度较小,其值均小于 0.4,而测量的相对误差均大于 5%。

表 2 新鲜鸭蛋和市售咸蛋介电参数与测试频率的 Pearson 相关性

Table 2 Pearson correlation analysis between dielectric parameters and frequencies of FDE and SDE

介电参数 Dielectric parameter	测试对象 Test object	频率 f Frequency	ϵ'_r	D	Z
ϵ'_r	新鲜鸭蛋 FDE	0.523 **	1		
	咸蛋 SDE	0.389 *			
D	新鲜鸭蛋 FDE	-0.525 **	-0.175	1	
	咸蛋 SDE	-0.381 *	-0.299		
Z	新鲜鸭蛋 FDE	-0.459 *	-0.423 **	0.545 **	1
	咸蛋 SDE	-0.398 *	-0.337 *	0.963 **	

注: * 表示显著相关($P < 0.05$), ** 表示极显著相关($P < 0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** indicates highly significant correlation ($P < 0.01$).

从表 2 可以看出,3 种介电参数(ϵ'_r 、 D 、 Z)均与测试频率呈显著($P < 0.05$)或极显著相关($P < 0.01$)。从表 2 还可以看出, ϵ'_r 和 Z 相关性达到显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$), ϵ'_r 和 D 相关性不显著($P > 0.05$); D 和 Z 的相关性达到极显著水平($P < 0.01$)。相关性分析表明,对鸭蛋而言, ϵ'_r 和 D 两者较为独立,可以作为表示鸭蛋介电特性的独立参数。但由于试样间损耗因数 D 的相对误差较大,且在频率增大时有 2 次交叉(图 2),在实际测量时容易发生误判,因此损耗因数 D 不宜作为特征介电参数;新鲜鸭蛋与咸蛋的复阻抗 Z 差异很小(图 2),也不能作为区分二者的特征介电参数;而新鲜鸭蛋和咸蛋的 ϵ'_r 在所测试频段呈极显著差异,且试样间的相对误差较小,因此选择 ϵ'_r 作为区分二者介电特性差异的介电参数。

表 3 新鲜鸭蛋和咸蛋相对介电常数 ϵ'_r 随测试频率(对数)的变化

Table 3 Changes of relative dielectric constant of FDE and SDE

测试频率/Hz Test frequency	测试对象 Test object	ϵ'_r			$R(\epsilon'_r)/\%$
		最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	
500~10 000	新鲜鸭蛋 FDE	7.73	5.22	6.63±0.88	3.09±1.82
	咸蛋 SDE	9.23	7.11	8.24±0.74	2.57±1.54
10 000~200 000	新鲜鸭蛋 FDE	8.92	7.15	7.77±0.48	8.06±4.96
	咸蛋 SDE	11.27	8.67	9.60±0.63	7.96±5.01
200 000~2 000 000	新鲜鸭蛋 FDE	7.54	6.87	7.33±0.20	1.50±1.84
	咸蛋 SDE	9.02	7.74	8.54±0.44	1.62±1.93
2 000 000~5 000 000	新鲜鸭蛋 FDE	17.00	5.27	8.86±4.79	44.72±33.67
	咸蛋 SDE	19.00	5.93	9.89±5.36	44.01±34.05

从表 3 可以看出:新鲜鸭蛋和咸蛋的 ϵ'_r 最大值

复阻抗 Z 表示电路系统中电感(L)、电容(C)及电阻(R)对电流的阻碍作用,是一个复数,其实部是电阻,虚部是电抗,本试验中 Z 为其模值。从图 2-C 可以看出,在所测频率范围内,新鲜鸭蛋和咸蛋的 Z 值随频率的增加不断减小,从 500 Hz 时的约 27 M Ω 下降至 5 000 000 Hz 时的最低点约 5 k Ω 。

2.3 介电参数与测试频率的相关性及介电参数的筛选

新鲜鸭蛋和市售咸蛋介电参数与频率相关关系的统计分析结果见表 2。

2.4 介电参数的最佳测试频率

如前所述,利用 ϵ'_r 可以明显区分出新鲜鸭蛋与咸蛋,表明有可能建立一种基于介电特性的无损检测手段,简捷、灵敏地反映咸蛋的腌制程度。从图 2 和表 2 可以看出, ϵ'_r 和频率 f 显著相关,且在某些频率点 ϵ'_r 有极值点;在这些极值频率点附近,当测试频率发生微小变化时, ϵ'_r 随介质或测试环境的变化将不可预期。因此,需要选择合适的测量频率范围,使得 ϵ'_r 的测试值在此范围内稳定变化。可以通过计算数值变动率的方法找出这个频率范围。变动率的计算公式为: $R(x) = (|x_2 - x_1| / x_1) \times 100\%$ 。式中: $R(x)$ 为 x 的变动率, x_1 为较低频率点的测试值, x_2 为较高频率点的测试值。

表 3 反映了新鲜鸭蛋和咸蛋 ϵ'_r 随测试频率(对数)的变化情况。

均位于频率 2 000 000~5 000 000 Hz,最小值均位

于频率 500~10 000 Hz。除检测频率 2 000 000~5 000 000 Hz 外,2 种试样的测量值 ϵ'_r 随频率的变化幅度(即最大值与最小值间的差值)都相对较小,其中频率 200 000~2 000 000 Hz ϵ'_r 的变化幅度最小; ϵ'_r 标准差(R)的最小值也在频率 200 000~2 000 000 Hz。说明在此频率区间 ϵ'_r 受频率的影响最小。综合考虑认为,频率 200 000~2 000 000 Hz 为最适测试频率。

3 讨 论

鉴于新鲜鸭蛋与咸蛋的质量及蛋形指数均无显著差异,无法通过对比外观物理指标对二者加以区分。实践中要区分二者须破壳对比,常通过感官测试来定性判断:新鲜鸭蛋蛋白浓稠,蛋黄呈扁平状,破壳后稍经挤压即致使蛋黄膜破裂,黏稠的蛋黄液随即流出;而咸蛋蛋白较稀,蛋黄接近球形,外部呈现固体性状并有一定硬度,手指轻触可以将其推动,挤压后呈胶着状。

在实际生产中,有人将蛋黄指数作为一项重要指标用于评价鲜蛋品质优劣^[10-11,16],通常新鲜鸭蛋的蛋黄指数在 0.40 左右。蛋品质下降后,蛋黄指数随之降低,蛋黄指数小于 0.25 时,蛋打开时即成散黄蛋。还有学者将蛋黄指数作为腌制咸蛋品质的一个重要评价指标^[15]。本研究发现,咸蛋的蛋黄指数约为新鲜鸭蛋的 2 倍,且差异显著($P<0.05$)。表明利用蛋黄指数可以定量区分出新鲜鸭蛋与咸蛋。

但无论是感官测试法还是蛋黄指数法均属破坏性方法,经此方法测量过的鸭蛋无法保持其完整性。本试验结果表明,新鲜鸭蛋与咸蛋的 ϵ'_r 在频率 500~5 000 000 Hz 时均呈极显著差异,所以新鲜鸭蛋与咸蛋在上述外观物理指标或感官测试上的差异,可以通过二者的介电特性差异表现出来。利用 ϵ'_r 可以明显区分出新鲜鸭蛋与咸蛋,意味着有可能建立一种基于介电特性的无损检测手段,简捷、灵敏地反映咸蛋腌制品质或腌制程度。虽然利用介电特性反映咸鸭蛋腌制品质的同类研究报道极少,但这种方法的可行性可从相近的研究中得到佐证:如 Ragni 等^[17]利用介电参数反映鸡蛋的蛋龄或新鲜程度;张蕾等^[16]研究了鸡蛋的相对介电常数 ϵ'_r 与蛋黄指数的相关关系,认为介电参数可以间接反映禽蛋储存期的品质变化。

必须强调的是,与禽蛋在贮藏期发生的变化相比,腌制过程中咸蛋内部的变化更大^[13,15,18-23]。咸蛋腌制时蛋白变稀是浓厚蛋白水样化的结果。与此

同时,食盐腌渍使得蛋白部分含盐量增加,蛋黄膜在高渗溶液中表现出收缩同时发生凝胶作用^[23],蛋黄脱水,含水量不断降低,而凝胶作用使蛋黄由表层向内部逐渐变硬,致使蛋黄指数不断提升。荣建华等^[15]研究发现,咸蛋经盐水浸泡法腌制 30 d 时已基本成熟,此时蛋黄指数接近 1,蛋白和蛋黄的含盐率也明显升高,而蛋白的含水率基本保持不变,蛋黄含水率从 46.98%降低至 17.23%,且蛋质量在腌制过程中也未发生明显变化。这表明在咸蛋腌制过程中,相较于禽蛋的贮藏过程,蛋白的含水总量并未随着时间增加而下降,加之浓厚蛋白水样化造成蛋白内自由水增加,使得咸蛋比新鲜鸭蛋的 ϵ'_r 有大幅提高。本研究发现,新鲜鸭蛋和咸蛋的相对介电常数 ϵ'_r 具有极显著差异,这其中的转变过程不是间歇性、跳跃性的,而是一系列连续性的变化所致。因此,笔者认为,通过对咸蛋腌制过程中介电特性的动态检测,并与腌制过程中的生理生化特性检测相结合,得出一种动态无损检测咸蛋腌制程度的方法大有可能。

另外,Ragni 等^[17]的试验表明,20 MHz 为最适测试频率。测量介电参数时测试频率的选择非常重要,这与本研究结果相符。

4 结 论

(1)在所测频率范围(500~5 000 000 Hz)内,新鲜鸭蛋与咸蛋的相对介电常数 ϵ'_r 、损耗因数 D 、复阻抗 Z 与频率呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)相关。新鲜鸭蛋与咸蛋的相对介电常数 ϵ'_r 及损耗因数 D 随频率增加呈振荡式变化,复阻抗 Z 的测量值随频率的增加而减小。

(2)新鲜鸭蛋与咸蛋的相对介电常数 ϵ'_r 间有极显著的差异性,可作为区分新鲜鸭蛋和咸蛋的特征介电参数;损耗因数 D 在所测频率范围内相对误差较大,复阻抗 Z 无显著差异,二者均不宜作为区分指标。

(3)在测试频率为 200 000~2 000 000 Hz 时,新鲜鸭蛋和咸蛋相对介电常数 ϵ'_r 受频率变化的影响相对较小,可以作为其最适测试频段。

[参考文献]

- [1] 陈 斌,黄星奕.食品与农产品无损检测新技术[M].北京:化学工业出版社,2004:4-9.
Chen B,Huang X Y. New methods of NDT for food and agriculture products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 4-9. (in Chinese)
- [2] Briggs, Lyman J. An electrical resistance method for the rapid

- determination of the moisture content of grain [J]. Bureau of Plant Industry Circular, 1908, 20: 8.
- [3] 董怡为. 食品的电特性及其应用: II. 谷物的电特性及其应用 [J]. 食品科学, 1995, 16(5): 10-13.
Dong Y W. Applications for electric properties of food: II. Applications for electric properties of grain and seed [J]. Food Science, 1995, 16(5): 10-13. (in Chinese)
- [4] Nelson S O. Electrical properties of agricultural products: A critical review [J]. Transactions of the ASAE, 1973, 16(2): 384-400.
- [5] 陈志远, 张继澍, 刘亚龙, 等. 番茄成熟度与其电学参数关系的研究 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 826-830.
Chen Z Y, Zhang J S, Liu Y L, et al. Relationships between tomato maturity and dielectric parameters [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2008, 28(4): 826-830. (in Chinese)
- [6] 周永洪, 黄森, 张继澍, 等. 火柿果实采后电学特性研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(4): 117-122.
Zhou Y H, Huang S, Zhang J S, et al. Study on the post-harvest dielectric properties of persimmon fruit [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(4): 117-122. (in Chinese)
- [7] 王玲, 黄森, 张继澍, 等. ‘嘎拉’苹果果实品质的电学特性研究 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 402-407.
Wang L, Huang S, Zhang J S, et al. Electric properties of ‘Gala’ apple fruit quality [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2009, 29(2): 402-407. (in Chinese)
- [8] 王瑞庆, 张继澍, 马书尚. 基于电学参数的货架期红巴梨无损检测 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 243-247.
Wang R Q, Zhang J S, Ma S S. Nondestructive determination of the quality of Red Bartlett pear during shelf-life by electrical characteristics [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 243-247. (in Chinese)
- [9] 唐燕, 杜光源, 张继澍. 桃的介电特性和品质关系 [J]. 食品科学, 2012, 33(9): 68-71.
Tang Y, Du G Y, Zhang J S. Modeling peach quality changes based on electric property analysis [J]. Food Science, 2012, 33(9): 68-71. (in Chinese)
- [10] 李晓东. 蛋品科学与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
Li X D. Science and technology of egg products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [11] 李俊营, 詹凯, 吴俊锋, 等. 不同储藏方式对鸡蛋品质的影响 [J]. 家畜生态学报, 2012, 33(1): 47-49, 102.
Li J Y, Zhan K, Wu J F, et al. Effects of different storage methods on egg quality [J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2012, 33(1): 47-49, 102. (in Chinese)
- [12] 马美湖. 我国蛋与蛋制品加工重大关键技术筛选研究报告(三) [J]. 中国家禽, 2005, 27(1): 3-7.
Ma M H. A research of key processing technologies of egg and egg products in China (3) [J]. China Poultry, 2005, 27(1): 3-7. (in Chinese)
- [13] Piyasena P, Ramaswamy H S, Awuah G B, et al. Dielectric properties of starch solutions as influenced by temperature, concentration, frequency and salt [J]. Journal of Food Process Engineering, 2003, 26: 93-119.
- [14] 景晨娟. 低频电参数和其他物理参数对牛奶品质的表征 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
Jing C J. Electric parameters in low frequency and other physical parameters characterize the quality of milk [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese)
- [15] 荣建华, 张正茂, 韩晓, 等. 腌制过程中咸蛋品质变化的动态分析 [J]. 华中农业大学学报, 2006, 25(6): 676-678.
Rong J H, Zhang Z M, Han X, et al. Dynamic analysis on quality of salted eggs in pickling process [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2006, 25(6): 676-678. (in Chinese)
- [16] 张蕾, 郭文川, 马严明. 鸡蛋储藏过程中介电特性与新鲜品质的变化 [J]. 农机化研究, 2008(4): 146-148, 154.
Zhang L, Guo W C, Ma Y M. Changes of hen eggs’ fresh quality and dielectric properties during the storage [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(4): 146-148, 154. (in Chinese)
- [17] Ragni L, Alshami A, Mikhaylenko G, et al. Dielectric characterization of hen eggs during storage [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82: 450-459.
- [18] 李帅俊, 凌刚. 咸蛋的快速腌制技术及改善其品质的研究 [J]. 食品工业科技, 2006, 27(2): 95-100.
Li S J, Ling G. Study on rapid salting technology and quality improvement of duck egg [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(2): 95-100. (in Chinese)
- [19] Kaewmanee T, Benjakul S, Visessanguan W. Effect of acetic acid and commercial protease pretreatment on salting and characteristics of salted duck egg [J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5: 1502-1510.
- [20] Lai K M, Ko W C, Lai T H. Effect of NaCl penetration rate on the granulation and oil-off of the yolk of salted duck egg [J]. Food Sci Technol Int Tokyo, 1997, 3(3): 269-273.
- [21] 刘良忠, 姜春杰, 文友先, 等. 缩短咸蛋加工时间及改善咸蛋品质的研究 [J]. 食品科技, 2003, 24(1): 36-37.
Liu L Z, Jiang C J, Wen Y X, et al. Reducing processing time of salted egg and improving its quality [J]. Food Science and Technology, 2003, 24(1): 36-37. (in Chinese)
- [22] 廖明星, 朱定和. 咸蛋加工过程的腌制成熟机理初探 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 324-326.
Liao M X, Zhu D H. Preliminary exploring of maturation mechanism of salted eggs during salting process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(4): 324-326. (in Chinese)
- [23] 卫惠萍, 全其根. 咸蛋黄腌制过程中特性变化 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(11): 74-77.
Wei H P, Tong Q G. The characteristics changes study during egg yolk salting process [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(11): 74-77. (in Chinese)