

食盐添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶品质的影响

张立彦, 胡嘉颖, 王仕钰

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 食盐是肉类加工过程中最广泛使用的咸味剂, 食盐的添加直接影响食品物料的介电特性, 改变微波加热对肉制品的作用效果。本文以鸡胸肉为原料, 研究不同食盐添加量对微波加热肉糜升温情况及凝胶品质的影响。实验数据表明: 添加食盐能显著降低微波加热鸡胸肉糜的升温速率, 同时使肉糜的升温速率更趋向于线性; 随着食盐添加量的增加, 鸡胸肉糜的蒸煮损失显著降低, 非压出水分含量和持水性均有显著性提高($p < 0.05$), 食盐添加量为 1.5% 时达到最大值; 肉糜的硬度值下降, 弹性、黏聚性和恢复性等指标增加($p < 0.05$), 咀嚼性和凝胶强度变化不明显; 肉糜的白度值逐渐降低, 彩度值逐渐升高。添加 1.5% 的食盐能使微波加热肉糜样品的凝胶结构更加均匀致密, 质地细腻且富有弹性。

关键词: 食盐; 微波加热; 鸡胸肉糜; 凝胶品质

文章编号: 1673-9078(2016)3-183-188

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.030

Effects of the Amount of Added Salt on Gel Properties of Microwave-heated Chicken Breast Mince

ZHANG Li-yan, HU Jia-Ying, WANG Shi-yu

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The addition of salt directly affects the dielectric properties of the food material and changes the microwave heating effects on the meat products. Chicken breast was used as the raw material in this study, and the effects of the amount of added salt on the temperature-increasing rate and gel properties of microwave-heated chicken breast mince were evaluated. The results showed that salt addition significantly reduced the temperature-increasing rate of microwave-heated chicken mince, showing a linear trend. As the amount of added salt was increased, the cooking loss of chicken breast mince was significantly reduced, and non-expressible water content and water holding capacity were markedly increased. The water holding capacity of the mince reached a maximum with 1.5% added salt. Hardness decreased and springiness and resilience increased with increasing salt content ($p < 0.05$), but no significant changes were observed in chewiness and gel strength. The chroma of the mince was enhanced, whereas the whiteness was reduced with increasing salt content. The addition of 1.5% salt caused the gel structure of the chicken breast mince sample to be more uniform and compact and the texture to be delicate and elastic.

Key words: salt; microwave heating; chicken breast mince; gel properties

鸡肉营养丰富, 以高蛋白、低脂肪、低胆固醇、高营养著称, 深受消费者喜爱。目前, 我国的鸡肉深加工仍存在许多问题, 如肉糜类产品(如鸡肉肠)的黏结性差, 出水、出油率高, 加热过程质量损失大, 产品嫩度和持水性较差等。不同的热处理方式会显著影响肉制品的结构及出品率^[1], 据研究, 利用微波加热替代传统水浴加热可以改善肉糜或重组肉制品品质。微波加热与常规加热方式有着明显的区别, 根据相关报道, 经微波短时间加热处理后, 鱼糜的凝胶强

收稿日期: 2015-05-12

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目资助(2011A090200030)

作者简介: 张立彦(1974-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与保藏

通讯作者: 胡嘉颖(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与保藏

度有所提高, 微观结构更加均匀致密, 效果优于其他传统加热方式^[2,3,4]。

微波加热是通过介质材料自身损耗电磁场能量而发热的, 物质本身的介电特性决定着微波场对其作用的程度, 而食品物料的水、盐、可溶性固形物含量等都会影响其介电特性, 改变物料在微波加热过程中的温度变化情况, 进而影响产品品质。食盐作为肉类加工中最广泛使用的咸味剂, 具有提高肉制品多汁性和改善功能特性、抑制微生物生长以及增强风味等功能^[5,6], 其在食品中也是典型的离子物质, 在微波加热过程中会发生迁移以及摩擦碰撞, 导致微波穿透深度变浅, 影响物料吸收微波能转化为热能的过程^[7]。关于食盐对鱼糜微波加热情况的影响已有相关研究^[2], 但添加食盐对微波加热鸡肉糜制品的作用效果还尚未

见有报道。本研究以鸡胸肉为原料,从持水性、色泽、质构特性以及微观结构等方面进行分析,比较了不同食盐添加量对微波加热鸡胸肉糜升温情况以及肉糜凝胶品质的影响,以期微波技术在肉制品加工中的实际应用提供理论借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷藏鸡胸肉 广州市江丰实业有限公司;氯化钠分析纯。

NN-S235WF微波炉,上海松下电器有限公司;CR400全自动便携式色差仪,日本柯尼卡美能达公司;TA-XT2i质构仪,英国Stable Micro Systems 公司;JJ500A电子天平,常熟市双杰测试仪器厂;MW-8微波光纤传感测温系统,加拿大 FISO 公司;VC20真空干燥箱,瑞士 Salvips 公司;多功能食物搅拌器,顺德美的电器有限公司;高JSM-6360低真空扫描电,日本 JEOL公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

原料肉→剔除结缔组织和脂肪等并切碎→添加10% (*m/m*) 的冷蒸馏水→用绞肉机绞碎→加入不同浓度的NaCl(分别为0.5、1.0、1.5、2.0%,*m/m*)→真空脱气15 min→冰箱冷藏备用(处理前平衡至室温)

样品处理:取适量鸡胸肉糜于聚四氟乙烯材质的烧杯中,将肉糜均匀压实至烧杯底部,进行微波加热(样品荷载功率密度为4 w/g),并用微波光纤传感测温系统记录加热过程的样品5点位置处的温度,取平均值。根据升温曲线确定样品微波加热条件为:时间170 s,荷载功率密度4 w/g。

1.2.2 蒸煮损失的测定

将微波加热前的肉糜称重,记为A,将经加热处理并自然冷却的样品用滤纸擦干表面水分后称重,记为B。蒸煮损失(Cooking Loss, CL)的计算公式如下:

$$CL(\%)=(A-B)/A \times 100\%$$

1.2.3 非压出水分的测定

参照Supavitpatana的方法^[8],将圆柱形肉糜样品切成10mm的厚度,称其质量,记为C,样品夹于上下各两层滤纸中,用质构仪进行挤压后称其质量,记为D。测定参数:探头型号P50,测试模式Hold Until Time,保持10 kg压缩力压缩3 min,测前速率2.0 mm/s,测试速率0.5 mm/s,返回速率10.0 mm/s,触发力Auto-10 g。各处理样测定重复3次。非压出水分(Non-expressible

Water, NW)的计算公式如下:

$$NW(\%)=[1-(C-D)/C] \times 100$$

1.2.4 持水性的测定

持水性(Water Holding Capacity, WHC)计算公式如下:

$$WHC(\%)=(100-CL) \times NW/100$$

1.2.5 色差分析

用色差仪以标准白色样板作为对照进行样品表面色差测定,分别记录L*、a*、b*值作为所测定样品的亮度值、红度值、黄度值,每组样品平行测定6次。样品白度(W)和彩度(C)的计算公式如下:

$$W=100-\sqrt{(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}}$$

$$C=\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$$

1.2.6 质构分析

将样品切成10 mm×10 mm×10 mm大小,采用质构仪TPA模式对样品的硬度、弹性、咀嚼性、恢复性等指标进行测定。参数设置:探头型号P/36R,压缩比40%,测前速率2.0 mm/s,测中速率1.0 mm/s,返回速率5.0 mm/s,两次下压的间隔时间为5 s,触发力Auto-5 g,数据攫取速率为200 pps,每组样品平行测定4次。

1.2.7 凝胶强度的测定

样品规格为φ30 mm×10 mm,采用质构仪的穿刺模式测定样品的凝胶强度。凝胶强度用探头压入样品开始至凝胶结构破裂时的破断强度和探头压入深度的乘积表示,单位g mm。参数设置:探头型号P/0.5,穿透比50%,测前速率1.0 mm/s,测中速率1.0 mm/s,返回速率5.0 mm/s,触发力Auto-10 g,数据攫取速率为200 pps,每组样品平行测定4次。

1.2.8 微观结构的观察

选取微波处理保水性较好的样品与未添加NaCl的处理样品进行扫描电镜观察,参考 Wattanachant 等^[9]的方法并稍作修改,取样切块(5 mm×5 mm×10 mm),在固定液(2.5%戊二醛、2%多聚甲醛缓冲液)中4℃固定15 h以上,再切条(2 mm×2 mm×4 mm),用0.1 mol/L的磷酸缓冲液漂洗3次,每次40 min,然后用乙醇梯度溶液(30%、50%、70%、80%、90%)逐级脱水,每级15 min,用100%乙醇脱水3次各10 min,再用叔丁醇置换10 min重复3次,然后-20℃静置15 min,进行冷冻干燥,粘台喷金,在加速电压为25 KV条件下用扫描电镜观察并拍照。

1.2.9 数据分析

实验数据采用SPSS 19.0软件进行ANOVA单因素方差分析及Duncan's多重检验(P<0.05),数值以均值

±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 添加 NaCl 对微波加热鸡胸肉糜温度变化

特性的影响

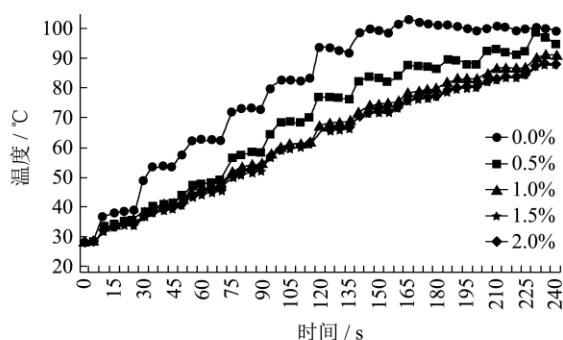


图 1 微波加热添加不同浓度 NaCl 鸡胸肉糜的升温曲线

Fig.1 Temperature rising curves of chicken breast mince with different NaCl concentrations during microwave irradiation

本研究使用脉冲式加热微波炉，因此样品中心温度呈脉冲阶梯式上升（图 1）。从图中可以看出，添加 NaCl 会显著降低微波加热肉糜的升温速率，当添加浓度超过 1% 后降低效果尤其明显。不添加 NaCl 的样品在加热 170 s 后达到 100 °C 左右，而此时 NaCl 添加量为 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 的样品温度仅分别达到 87.4、79.1、77.3 和 76.7 °C，可能是因为添加 NaCl 改变了肉糜的介电特性，使微波的穿透深度随着温度的升高而逐渐减小^[7,10]，导致单位体积肉糜吸收微波转换为热能的效率降低，升温速度逐渐变缓。根据升温曲线，对照样在微波加热 170 s 达到 100 °C 后温度基本不变，且其他样品组均达到熟化温度（70~75 °C），选定微波处理时间为 170 s。

2.2 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 CL 的影响

响

食盐添加量对微波加热鸡胸肉糜的蒸煮损失的影响如图 2 所示，微波处理时间 170s、荷载功率密度 4 w/g 条件下，随着 NaCl 添加量增加，鸡胸肉糜的 CL 逐渐减小，到 NaCl 浓度为 1.5% 时达到最小（9.23%），同比降低了 57.83%，后趋于平缓。在一定的 NaCl 浓度范围内，随着鸡胸肉糜中 NaCl 添加量的增加，肌原纤维蛋白的溶出量增加，形成网络结构比较均匀致密的凝胶，对水分的吸附能力也越来越强，

使鸡胸肉糜的 CL 不断减小^[11]。另外，由于 NaCl 含量高的样品加热温度较低，受热时间较短，肌原纤维蛋白变性程度低，也使得 CL 较低。根据李煜等人的研究结果^[12]，微波加热和常规加热（85 °C，30 min）造成的蒸煮损失随食盐加量的变化趋势类似，大小差异不大，说明食盐添加量能显著影响肉糜的蒸煮损失。

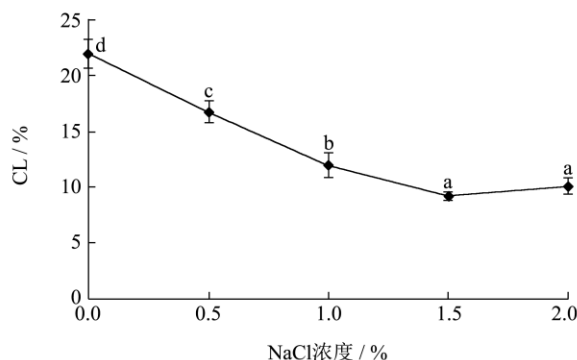


图 2 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 CL 的影响

Fig.2 Effects of NaCl addition level on CL of chicken breast mince heated by microwave

注：图中字母相同表示差异不显著（ $p>0.05$ ），不同表示有显著性差异（ $p<0.05$ ），下同。

2.3 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 NW 的影响

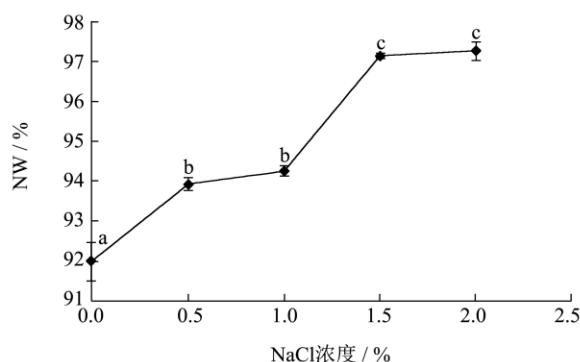


图 3 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 NW 的影响

Fig.3 Effects of NaCl addition level on NW of chicken breast mince heated by microwave

如图 3，鸡胸肉糜的 NW 随着 NaCl 添加量的增加而逐渐增大，所有添加 NaCl 的样品均显著高于对照样（ $p<0.05$ ），到 NaCl 添加量为 1.5% 后，基本保持不变，其中 2.0% 添加量的 NW 与未添加样相比增加了 5.74%。由于 NaCl 在肉糜中提供了一定的离子强度，利于盐溶性蛋白溶出，并趋向于向肉糜表面转移，受微波后，变性凝固，在肉糜表面形成黏着层，大大降低了肉糜的压榨损失^[13]，故鸡胸肉糜中非压出水分含量逐渐增加。食盐添加量为 1.0% 的样品 CL 显著低

于 0.5% 的样品, 但两者的 NW 没有明显差异, 可能是由于 1.0% 食盐的加入对水分子的束缚不足以较好地抵抗压力作用, 受外界压力作用后, 被压出的部分除了结合比较弱的水分子还有部分与水结合的小分子物质。

2.4 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 WHC 的影响

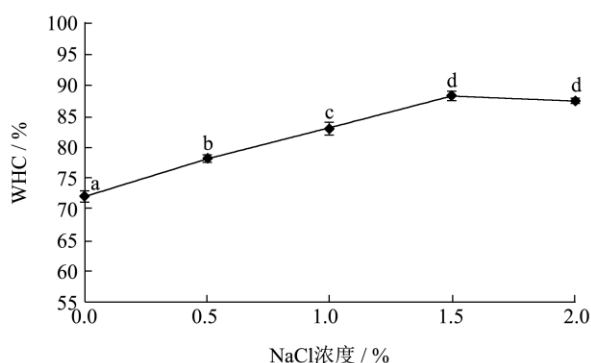


图 4 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜 WHC 的影响

Fig.4 Effects of NaCl addition level on WHC of chicken breast mince heated by microwave

肉糜的 WHC 与 CL、NW 有密切关联, 添加 NaCl 可以显著减少肉糜的 CL, 并使 NW 显著增大。传统加热条件下, 肉糜的 WHC 会随着 NaCl 添加量的增加而逐渐变大 (一定 NaCl 添加量范围内), 微波加热条件下这一趋势不变。由图 4 可以看出, 未添加 NaCl 样品的 WHC 与其余各处理组之间均有显著性差异 ($p < 0.05$), 鸡胸肉糜的持水性随着 NaCl 添加量的增加而逐渐变大, 当添加量高于 1.5% 时肉糜 WHC 较对照增加了约 20%, 其后 WHC 变化不明显 ($p > 0.05$)。这一趋势是 NaCl 促进盐溶性蛋白溶出及降低肉糜温

度综合作用的结果。

2.5 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜色泽的影响

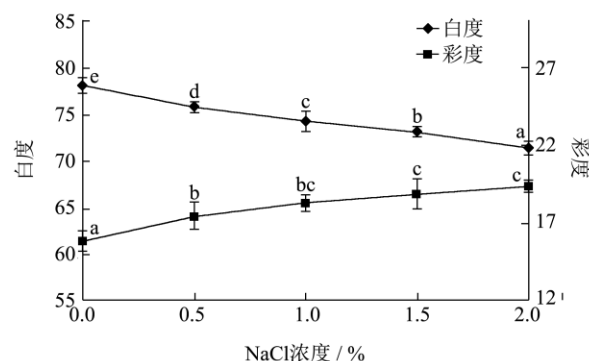


图 5 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜色泽的影响

Fig.5 Effects of NaCl addition level on color of chicken breast mince heated by microwave

由图 5 可知, 随着 NaCl 添加量的增加, 在微波加热条件下, 鸡胸肉糜色泽的白度值逐渐减小, 彩度值逐渐增加。方差分析结果显示, 添加不同浓度 NaCl 的各处理组之间的白度值均有显著性差异 ($p < 0.05$), 彩度值也随着 NaCl 添加量增加而显著增加 ($p < 0.05$)。添加食盐会导致样品表面色泽发生改变, 可能是由于肉糜凝胶的色泽与其持水能力有关^[4], 食盐添加量增加可以提高肉品的持水力、降低氧的渗透速率, 从而有更多的水包围着肌红蛋白分子, 肉糜体系中去氧肌红蛋白的比例下降, 最终使凝胶色泽变暗。

2.6 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶质构特性的影响

表 1 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶质构特性的影响

Table 1 Effects of NaCl addition level on textural properties of chicken breast mince heated by microwave

NaCl 浓度 / %	硬度 / g	弹性	黏聚性	咀嚼性 / g	恢复性
0.0	2517.88 ± 96.14 ^c	0.800 ± 0.022 ^a	0.646 ± 0.014 ^a	1299.68 ± 28.98 ^a	0.249 ± 0.008 ^a
0.5	2017.26 ± 125.18 ^{ab}	0.833 ± 0.022 ^a	0.702 ± 0.019 ^b	1182.39 ± 17.75 ^a	0.278 ± 0.003 ^b
1.0	2271.43 ± 137.31 ^{bc}	0.832 ± 0.022 ^{ab}	0.682 ± 0.008 ^b	1289.74 ± 80.55 ^a	0.287 ± 0.005 ^b
1.5	1941.93 ± 64.53 ^a	0.841 ± 0.019 ^{ab}	0.742 ± 0.022 ^c	1210.22 ± 41.34 ^a	0.327 ± 0.017 ^c
2.0	2093.40 ± 228.27 ^{ab}	0.866 ± 0.011 ^b	0.752 ± 0.021 ^c	1360.85 ± 40.65 ^a	0.333 ± 0.014 ^c

注: 表中同列字母不同表示有显著差异 ($p < 0.05$)。

由表 1 可知, 添加 NaCl 各组样品的硬度值与未添加样相比均有显著降低 ($p < 0.05$); 而样品弹性则随 NaCl 含量增加而逐渐增大, 且添加量为 2.0% 时增加显著 ($p < 0.05$); 黏聚性和恢复性则呈现一致的变化规律: NaCl 添加量超过 1.5% 后增大显著 ($p < 0.05$);

样品咀嚼性随 NaCl 含量增加无显著变化 ($p > 0.05$)。随鸡胸肉糜中食盐添加量增加, 可以促进更多盐溶性蛋白的溶出, 随微波加热而逐渐变性, 形成稳定的、富有弹性的蛋白凝胶网络, 束缚肉糜中的大量游离水分, 使得肉糜的弹性、黏聚性、恢复性都有显著的增

加,这也与王祎娟^[15]等的研究结果一致。但是鸡胸肉糜的硬度却随 NaCl 添加量的增加而有所降低,可能是由于 NaCl 使鸡肉糜的蛋白凝胶网络膨胀,含水量增加,再加上加热温度随 NaCl 添加量降低,肌原纤维蛋白变性程度较低,肉糜体系的支撑强度下降。

2.7 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶强度的影响

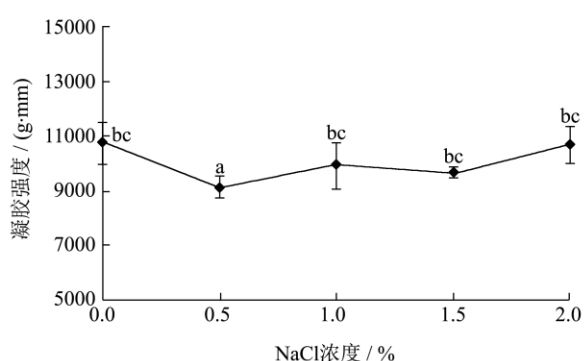


图 6 NaCl 添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶强度的影响

Fig.6 Effects of NaCl addition level on the gel strength of chicken breast mince heated by microwave

由图 6 可知,随 NaCl 添加量增加,鸡胸肉糜的凝胶强度呈现先下降后增加的趋势。方差分析结果表明,只有 0.5% 添加量的样品与其余各样品之间有显著差异 ($p < 0.05$)。食盐添加引起的离子强度上升利于肉糜凝胶保留更多的水分,0.5% 食盐添加量的凝胶强度略有降低可能是因为游离水分的增加使肉糜体系的支撑强度下降。随 NaCl 添加量继续增大,肉糜中盐溶性蛋白的溶出量增加,蛋白凝胶网络进一步加强,使肉糜的凝胶强度逐渐恢复。多项研究表明,微波加热可以显著提高肉糜制品的凝胶强度^[2,16],但由于本实验控制加热时间相同,而样品受 NaCl 添加量影响终温差异较大,因此对凝胶强度的改善作用变得不明显。

2.8 添加 NaCl 对微波加热鸡胸肉糜凝胶微观结构的影响

选取鸡胸肉糜保水性最好的 1.5% NaCl 添加量样品与未添加 NaCl 样品做比较,观察肉糜的微观结构,见图 7。

由图 7 可以看出,添加 NaCl 的样品横切面更加平整,肉糜凝胶网络结构更加均匀细致,可能是由于添加食盐导致盐溶性蛋白溶出量增加,使得肉糜在受微波加热的过程中逐步形成比较均匀细致的蛋白凝胶网络,束缚更多的游离水分,提高肉糜的保水性,同

时使肉糜的质地更加细腻,富有弹性。由图 1 可知,对照样在微波加热 170s 后肉糜平均温度达到 100 °C,水分急剧蒸发汽化,会形成较大的气孔(图 E、F),破坏肉糜均匀、细密的凝胶结构,变得粗糙、干硬,但添加适量的 NaCl 后,降低肉糜温升速率和温度,结合 NaCl 对盐溶性蛋白的作用,利于形成结构均匀细致的凝胶。

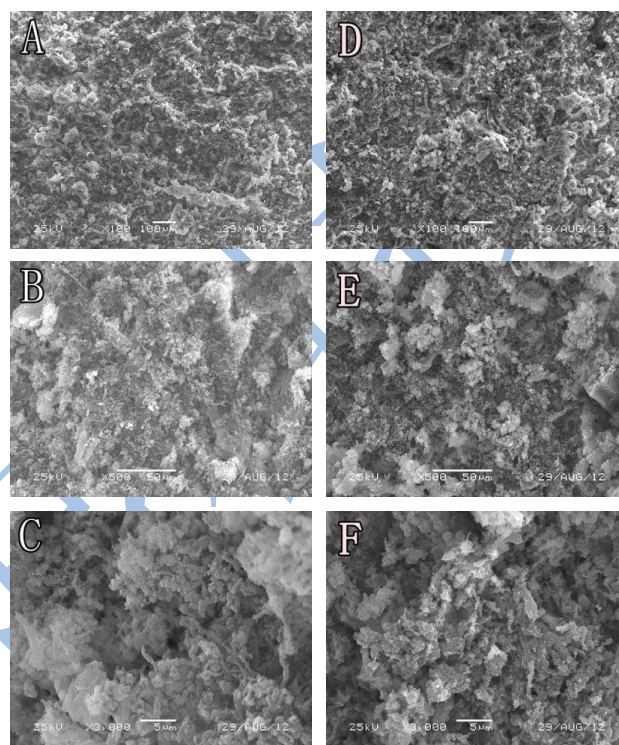


图 7 添加 NaCl 对微波加热鸡胸肉糜凝胶微观结构的影响

Fig.7 Effects of NaCl addition level on gel microstructure of chicken breast mince heated by microwave

注:从左到右依次为添加 1.5% NaCl、0% NaCl,自上而下依次为 100、500、3000 倍。

由上可以看出,微波加热条件下,肉糜制品各特性的变化均受到 NaCl 添加量及加热温度的综合影响。相比于传统加热和超高静压处理,微波加热条件下肉糜各特性的变化趋势虽然不同,但肉糜的保水性、质构及凝胶强度、微观结构等均能得到改善。因此,微波加热在肉糜制品生产中是一种很有应用潜力的加热处理方式。

3 结论

NaCl 的添加能显著降低微波加热鸡胸肉糜的升温速率和终点温度,提高其持水性,改善保水能力。此外,随着 NaCl 添加量的增加,肉糜白度值逐渐降低,彩度值逐渐升高。在质构方面,添加 NaCl 后肉糜硬度显著下降,弹性、黏聚性和恢复性等指标有显著性增加 ($p < 0.05$),而咀嚼性则基本无变化,凝胶

强度有增加趋势,但变化不明显 ($p > 0.05$)。NaCl 的加入可使肉糜的凝胶结构更加均匀致密,质地细腻而富有弹性。微波加热技术在肉糜制品生产中很有应用潜力。

参考文献

- [1] E Tornberg. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties [J]. *Meat Science*, 2013, 95(4): 871-878
- [2] FU Xiang-jin, Khizar Hayat, LI Zhong-hai, et al. Effect of microwave heating on the low-salt gel from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 27(2): 301-308
- [3] 曹燕,程裕东,鲢、狭鳕鱼糜微波加热凝胶形成的动力性分析[J]. *水产学报*, 2005, 29(4): 547-551
CAO Yan, CHENG Yu-dong. Study on gel-forming kinetics of silver carp and *Alaska Pollack* surimi during microwave heating [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(4): 547-551
- [4] Gustavo V Barbosa-Cánovas, Ilce Medina-Meza, Kezban Candoğan, et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products [J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 420-434
- [5] Eoin Desmond. Reducing salt: A challenge for meat industry [J]. *Meat Science*, 2006, 74(1): 188-196
- [6] Massimiliano Petracci, Maurizio Bianchi, Samer Mudalal, et al. Functional ingredients for poultry meat products [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, 33(1): 27-39
- [7] Chandrasekaran S, Ramanathan S, Tanmay Basak. Microwave food processing - A review [J]. *Food Research International*, 2013, 52(1): 243-261
- [8] Supavitpatana T, Apichatsrangoon A. Combination effects of ultra-high pressure and temperature on the physical and thermal properties of ostrich meat sausage (yor) [J]. *Meat Science*, 2007, 76(3): 555-560
- [9] Wattanachant S, Benjakul S, Ledward DA. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle [J]. *Food Chemistry*, 2005, 93(2): 337-348
- [10] Jamil Anwar, Umer Shafique, Waheed-uz-Zaman, et al. Microwave chemistry: Effect of ions on dielectric heating in microwave ovens [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2015, 8(1): 100-104
- [11] 李继红.不同种类肉盐溶蛋白凝胶特性的研究[D].保定:河北农业大学,2004
LI Ji-hong. Study on gel properties of salt soluble protein of different kinds of meat [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei Province, 2004
- [12] 李煜,孙高军,余霞,等.食盐与超高压对低脂猪肉糜凝胶品质及热特性的影响[J]. *肉类研究*, 2011, 4: 12-16
LI Yu, SUN Gao-jun, YU Xia, et al. Effects of salt and ultra-high pressure on gel qualities and thermal properties of low-fat ground pork [J]. *Meat Research*, 2011, 4: 12-16
- [13] Siegel D G, Theno D M, Schmidt G R. Meat massaging: The effects of salt, phosphate and massaging on presence of specific skeletal muscle proteins in the exudate of a sectioned and formed ham [J]. *Journal of Food Science*, 1978, 43: 327-330
- [14] R T Baublits, F W Pohlman, A H Brown, et al. Impact of muscle type and sodium chloride concentration on the quality, sensory, and instrumental color characteristics of solution enhanced whole-muscle beef [J]. *Meat Science*, 2006, 72(4): 704-712
- [15] 王裙娟,余小颖,李学斌,等.pH值、NaCl浓度和加热温度对猪肉匀浆物凝胶质构特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(12): 183-188
WANG Yi-juan, YU Xiao-ling, LI Xue-bing, et al. Effect of pH, sodium chloride concentration and heating temperature on textural properties of pork homogenate gelation [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(12): 183-188
- [16] 曹燕,程裕东,王锡昌,等.加热方式对白鲢鱼糜类素凝胶形成能力的影响(英文)[J]. *上海水产大学学报*, 2003, 12: 78-85
CAO Yan, CHENG Yu-dong, WANG Xi-chang, et al. Effects of heating methods on gel-forming ability of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2003, 12: 78-85