

鲢鱼糜与淀粉复合系统的微波糊化特性

王 伊, 程裕东*, 金银哲

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 在 2 450 MHz 频率的微波处理条件下, 为了考察添加鲢鱼糜对小麦粉面团糊化的影响, 将小麦粉、鲢鱼糜、NaCl 和去离子水按比例混合制成鲢鱼糜面团, 面团中鲢鱼糜含量分别为 0%, 10%, 20% 和 30%(w/w, 质量百分比), 对样品面团中淀粉的介电特性和糊化特性进行研究。结果表明, 对于相同尺寸的面团样品, 添加鲢鱼糜可改善面团样品在电磁场中的加热均匀性。随着温度的升高, 面团的介电常数和介电损失率分别在 20~23 和 9~12 内波动并呈下降趋势, 微波的穿透深度因淀粉的糊化略有上升。淀粉的糊化速率随温度的升高而下降。降低样品中淀粉的含量, 会使面团糊化活化能由 113.54 kJ/mol 下降至 59.96 kJ/mol。

关键词: 鲢; 鱼糜; 微波加热; 糊化; 介电特性; 活化能

中图分类号: TS 254.5

文献标志码: A

世界各地的研究者开展了非油炸速煮面条的研究工作。而几乎所有的研究都是建立在对淀粉的部分预糊化处理^[1-3]。现代淀粉预糊化技术已较为成熟, 一般用干燥处理技术制备, 主要方法有滚筒法、喷雾干燥法、挤压法和微波法^[4]。其中, 微波预糊化目前仍处于实验室研究阶段, 但高效节能, 选择性加热的优点使电磁能在工业中得到了越来越广泛的应用。它在淀粉预糊化中的应用也受到越来越多的关注。Xue 等^[5]将微波加热用于日式乌冬面加工工艺中有效缩短了面条的烹调时间。

微波与食品材料的相互作用很大程度上取决于食品材料的介电特性。食品的介电特性受到很多因素影响, 如频率、温度、水分含量、样品的形状尺寸以及食品的组分等, 特别是盐和脂肪含量^[6]。食品的介电特性通过如下方程描述:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

式中, ε' 是介电常数, 它是衡量食品材料贮存电磁能能力的量度。 ε'' 是介电损失率, 它是衡量食品材料将电磁能转化为热能能力的量度。介电常数 ε' 和

介电损失率 ε'' 是考察食品物料在电磁场中加热特性的重要参数。微波的穿透深度为微波电场强度衰减为表面电场强度的 $1/e$ (欧拉数 $e \approx 2.718$) 时与食品表面的距离^[7]。国内外研究者已对食品的介电特性进行了深入研究, 如对水分含量为 30% 的小麦^[8]、蜡质玉米^[9]、马铃薯淀粉^[10] 及玉米^[11] 进行微波处理, 降低了淀粉的糊化焓。Lewandowicz 等^[12] 报道了木薯淀粉(水分含量在 20%~35%) 经微波处理后黏度降低, 糊化温度升高。

鱼面是将鱼糜、小麦粉和食盐按配比混合制成, 它不但提高了面条蛋白质的含量, 还弥补了单纯植物性蛋白质氨基酸组成不完全的缺陷^[13]。此外, 它也为中国丰富的淡水鱼资源提供了一条新的利用途径。传统的鱼面生产工艺属纯手工制作, 产量低、质量不稳定、保质期短^[14], 将鱼面的生产机械化、工业化能有效提高鱼面的产量和质量。陈洪林^[15]、卢建中^[16] 以及胡秋波^[17] 等已经获得鱼面制作的专利。但在鱼面的工业化生产过程中应用微波预糊化处理的研究并不多见, 微波预糊化可在提高鱼面品质的基础上, 有效缩短鱼面在家

收稿日期: 2011-12-25 修回日期: 2012-03-08
项目资助: 上海市科学技术委员会攻关项目 (063919136)
通讯作者: 程裕东, E-mail: ydcheng@shou.edu.cn

庭消费中烹调时间, 以满足人们对营养的需求以及日益加快的生活节奏。

本研究以微波加热作为淀粉的预糊化手段, 考察鲢鱼糜对小麦粉面团介电特性的影响, 为模拟微波加热鱼糜面团提供依据。淀粉的糊化特性决定了其在食品中的用途, 本研究还考察了鲢鱼糜对淀粉糊化活化能的影响以及在电磁场中鲢鱼糜对面团中淀粉糊化速率的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

风筝牌特一粉购于上海华联超市; 冷冻鲢鱼糜(SA 级)购于荆州市中科龙生食品有限公司; NaCl 为分析纯(上海三鹰化学试剂有限公司)。主要原料基本成分如表 1 所示。

表 1 原料的基本成分

Tab. 1 The composition of materials

成分 Ingredient	水分 moisture	蛋白质 Crude protein	脂肪 crude oil
小麦粉 wheat flour	12.36%	10.68%	0.92%
鲢鱼糜 silver carp surimi	74.40%	16.34%	1.21%

1.2 仪器与设备

实验所用仪器和设备有 JM 电子天平, 上海纪铭电子天平; BS 224S 赛多利斯分析天平, 德国 Sartorius 集团; DHG-9245A 电热鼓风干燥箱, 上海慧泰仪器制造有限公司; FISO 微波工作站, 加拿大 FISO 技术公司; FOT-L-SD 光纤温度传感器, 加拿大 FISO 技术公司; NN-GD568M 松下微波炉, 上海松下微波炉有限公司; TH7700 NEC 红外测温仪, 美国 NEC San-ei 仪器有限公司; PNA-L 网络分析仪, 美国安捷伦科技有限公司; SH-241 小型环境试验箱, 日本 ESPEC CORP.; 823° 差示扫描量热仪(823°DSC), 梅特勒—托利多国际股份有限公司; THERMIC MODEL 2100A 热电偶测温仪, ETO DENKI 公司; DMT-5 型复兴牌电动面条机, 龙口市复兴机械有限公司。

1.3 实验方法

鱼糜面团样品的制备 鲢鱼糜流水半解冻后去除密封包装, 切成小块, 在低温环境下斩拌 5 min, 将斩拌好的鱼糜装入聚乙烯密封袋中密封冷藏备用。

在 0 °C 环境下将小麦粉和鲢鱼糜按 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2 和 7 : 3 比例混合均匀。2% NaCl 溶解于适量去离子水中(使面团湿基含水量达到 38%, w/w)后, 加入小麦粉和鲢鱼糜的混合物中将原料敲制成面团状。用面条机将面团压延成厚度为 4 mm 的面片, 面片用聚乙烯膜包裹后置于 4 °C 环境中熟化 30 min 后取出面片, 用亚克力模具将面团制成形状尺寸不同的面团(圆柱体: 46.8 mm×56 mm×70 mm; 长方体: 41.5 mm×49.6 mm×62 mm), 面团用聚乙烯膜包裹后置于 4 °C 冰箱中冷藏备用。

通过对不同几何形状和尺寸的面团样品微波加热均匀性的考察, 发现圆柱体样品比相同体积长方体样品的加热均匀性好, 小尺寸样品比大尺寸样品的加热均匀性好, 因此在考察电磁场中鲢鱼糜对面团糊化特性的影响时选用厚度为 $h=4$ mm, 直径 $\varphi=46.8$ mm 的圆柱体样品作为实验用样品。

样品的微波加热 将制得的鲢鱼糜面团放入包有聚苯乙烯保温层的容器中, 并将容器放置于微波炉转盘中心, 进行微波加热(输出功率 $P=150$ W, 频率 $f=2\ 450$ MHz)。由于微波加热的不均匀性, 根据预实验确定面团中升温最快的位置。微波加热过程中, 在各面团的升温最快点插入光纤温度传感器实时监测样品的升温情况。

介电特性值的测定 实验采用同轴探针法测定鱼糜面团的介电常数 ϵ' 和介电损失率 ϵ'' 。该系统由介电探针、网络分析仪、探针电缆和一个恒温恒湿箱构成。本研究选择频率范围为 300~3 000 MHz, 频率间隔 5 MHz, 点数为 541; 温度范围 10~70 °C, 温度间隔 10 °C。样品温度用热电偶进行跟踪测量, 每种样品介电常数和介电损失率均至少平行测定 3 次, 取平均值。穿透深度依下式计算:

$$d_p = \frac{c_0}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right]}} \quad (2)$$

式中, d_p 为穿透深度 (cm); $c_0=3 \times 10^8$ m/s 为微波在真空中的传播速度; $f=2\ 450$ MHz 为频率; $\lambda_0=c_0/f=12.24$ cm 为真空中频率为 2 450 MHz 的微波波长; ϵ' 为介电常数; ϵ'' 为介电损失率。

糊化程度 α 的测定 面团的糊化程度即在一定水分温度条件下, 面团中发生糊化反应的淀

粉在总淀粉中的比例。面团糊化程度 α 的测定参考Xue 等^[18]的研究。将经热处理样品用冰块快速冷却,终止糊化后重新充分揉和均匀,用面条机压延为厚度为 1 mm 的面片,用冲子在面片的不同区域压取 3 份 $\phi=2$ mm 的样品面片,加入适量水分(使湿基水分含量达到 70%, w/w)后在研钵中充分研磨成浆。用注射器取约 10 mg 浆液于 60 mL DSC 定位铝坩埚中,记录添加质量(精确到 0.000 1 g),密封坩埚后将其置于 4 °C 冰箱中平衡 4 h。平衡后将坩埚放进 DSC 仪中进行分析可得到样品的糊化吸热焓。测量的温度范围 40~90 °C,升温速率为 5 °C/s,氮气流量为 100 mL/min,反应气体流量为 50 mL/min,各样品平行测量 3 次,结果取平均值。样品糊化程度根据下式计算:

$$\alpha = \frac{\Delta H_t - \Delta H_r}{\Delta H_t} \quad (3)$$

式中, ΔH_t 为淀粉糊化总焓(J/g); ΔH_r 为淀粉糊化余焓(J/g)。

淀粉的糊化速率 微波处理过程中,淀粉的糊化速率用于表征在一定水分条件下,加热时间 t 后该终止温度下淀粉发生糊化反应的快慢。淀粉糊化是一个复杂过程,但是通常用一级反应简化描述,即:

$$-kt = \ln \frac{A_t}{A_0} = \ln \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \quad (4)$$

式中, k 为糊化反应速率常数(s^{-1}); t 为加热时间(s); A_0 、 A_t 分别为糊化开始和糊化 t 时刻样品中未糊化淀粉含量。

式(3)中 $(A_0-A_t)/A_0$ 为面团的糊化程度,因此式(3)可简化为:

$$-kt = \ln(1-\alpha) = \ln \left(1 - \frac{\Delta H_t - \Delta H_r}{\Delta H_t} \right) = \ln \frac{\Delta H_r}{\Delta H_t} \quad (5)$$

淀粉糊化的动力学分析 为了考察鲢鱼糜对小麦粉面团糊化难易的影响,需要确定鲢鱼糜

面团的糊化活化能。加热至不同温度终点的样品的糊化速率的对数值 $\text{Log}K$ 对热力学温度的倒数 $1/T$ 作图,得到 Arrhenius 曲线,进而计算出反应所需活化能,即:

$$E_a = 2.303R \frac{d(\text{Log}K)}{d(1/T)} \quad (6)$$

其中, E_a 为糊化活化能(kJ/mol); $R=8.314$ J mol /K,为气体常数; K 为淀粉糊化速率, s^{-1} ; T 为加热终点热力学温度, K。

统计分析 利用 SPSS 18.0 对实验数据进行回归和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 鱼糜含量对面团微波加热均匀性的影响

相同厚度,直径最小的圆柱体样品在微波加热中体现了较好的温度分布均匀性,因此选择厚度为 4 mm,直径为 46.8 mm 的圆柱体样品为考察对象。添加鲢鱼糜对样品在微波加热过程中温度分布的影响结果如图 1 所示。鲢鱼糜添加量为 0% 的样品中心与热点区域温差可达 7 °C,随着鱼糜添加量至 10% 和 20%,样品中心与热点区域温差下降至 2 °C 和 1 °C,当鱼糜添加量高达 30% 时,样品中心与热点区域温差略有上升,为 3 °C。微波加热对象中水是最重要的偶极子组分,而盐、脂肪和蛋白质也充当介电成分^[7,19],由于本研究在样品的水分含量和 NaCl 含量,尺寸和形状一定的条件下考察加热过程中样品的温度分布,因此,该温差差异主要是由于鲢鱼糜的添加改变了样品中脂肪和蛋白质的含量从而影响了面团的介电特性。

2.2 鱼糜与淀粉复合体系介电特性研究

介电常数 ϵ' 在频率为 2 450 MHz 下,鲢鱼糜面团的介电常数在 20~23 的小范围内呈波动变化(图 2)。添加鲢鱼糜,使面团的介电常数增加,这与 Umbach 等^[20]的报道不同,其研究认为,高蛋

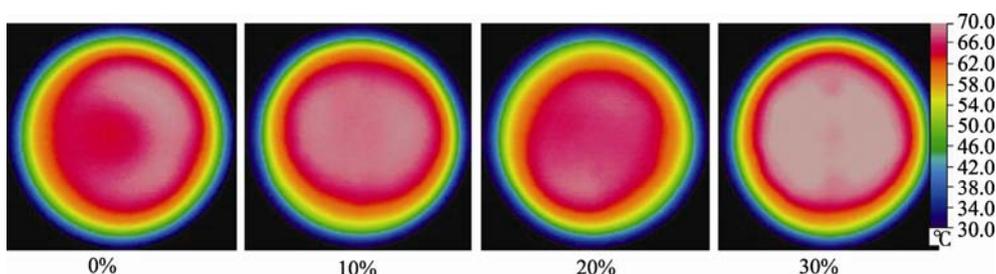


图 1 鲢鱼糜添加量对微波加热圆形样品上表面热分布红外成像的影响

Fig. 1 Changes of the temperature distribution with silver carp surimi content increased

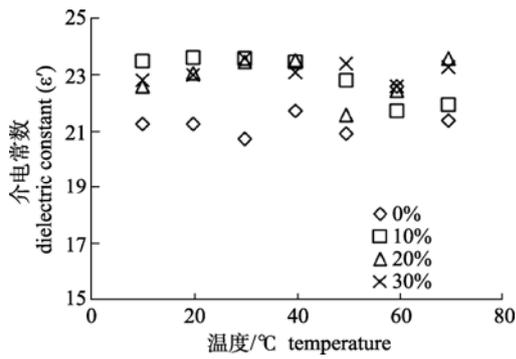


图 2 鲢鱼糜对面团介电常数的影响
 Fig. 2 Influence of silver carp surimi on dielectric constant of wheat flour dough at 2 450 MHz

白含量的样品比高淀粉含量的样品的介电常数低。添加鲢鱼糜引起的介电常数上升, 这可能是由于添加的鲢鱼糜中含有的蛋白质和脂肪的极性比淀粉颗粒强。在有限水分条件下(湿基含水量: 38%, w/w), 介电常数随温度的变化呈非线性变化。在小麦淀粉的糊化峰值温度附近, 不同鱼糜含量的面团的介电常数数值相近, 含鱼糜面团的介电常数值仍然稍高于小麦粉面团。

介电损失率 ϵ'' 在频率为 2 450 MHz 下, 鲢鱼糜面团的介电损失率在 9~12 的范围内波动并有减小的趋势(图 3)。在 2 450 MHz 微波加热过程中, 高温的面团比低温的面团吸收的能量少, 从而改善了加热均匀性。淀粉糊化开始前, 添加鲢鱼糜对样品介电损失率的影响不明显。糊化开始后(50 °C), 添加鱼糜面团的介电损失率略低于纯小麦粉面团。糊化结束后(70 °C), 不同鱼糜添加量的鱼糜面团的介电损失率差异不明显($P>0.05$)。因此, 在淀粉糊化过程中, 鲢鱼糜的添加改善了面团的微波加热均匀性。这是由于在微波加热过程中, 鲢鱼糜和面粉的复合体系中发生了淀粉糊化、鱼糜凝胶和面筋蛋白变性这一系列的理化反应, 水与变性的蛋白和凝胶化的淀粉之间发生相互作用, 从而限制了样品中水分的流动性, 导致在电磁场中水分子不能自由旋转产生, 降低了鱼糜面团将微波能转化为热能的能力, 即介电损失率下降。

穿透深度 d_p 在 10~40 °C 的温度范围内, 随着温度上升, 面团的穿透深度呈下降趋势。在淀粉糊化过程中(50~70 °C), 微波在面团中的穿透深度有上升趋势。糊化开始前(10~40 °C), 鱼糜添加量为 20% 的面团的穿透深度较其他面团稍大; 糊

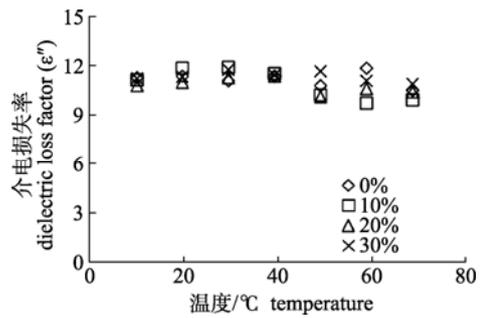


图 3 鲢鱼糜对面团介电损失率的影响
 Fig. 3 Influence of silver carp surimi on dielectric loss factor of wheat flour dough at 2 450 MHz

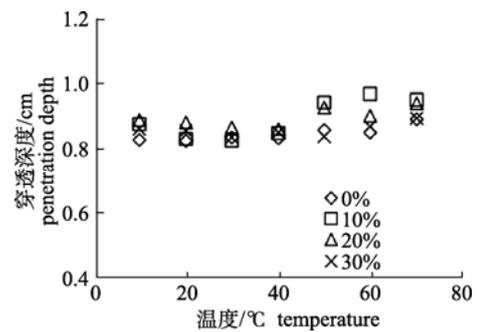


图 4 鲢鱼糜对面团穿透深度的影响
 Fig. 4 Influence of silver carp surimi on penetration depth of wheat flour dough at 2 450 MHz

化开始至结束过程中(50~70 °C), 10%鱼糜面团的穿透深度明显大于其他面团。在 70 °C 时, 穿透深度的大小关系为 10%>20%>30%>0%。

2.3 微波加热淀粉糊化速率比较

鱼糜面团微波糊化的阿列纽斯曲线如图 5 所示。随着微波加热终止温度升高, 淀粉糊化速率下降, 且淀粉糊化速率与加热终止温度呈线性关系。不同鲢鱼糜含量面团中淀粉糊化的阿列纽斯方程分别为 $y = 1331.9x - 3855.4 (R^2 = 0.9699)$ (0%), $y = 891.69x - 2555.4 (R^2 = 0.9608)$ (10%), $y = 527.51x - 1494.6 (R^2 = 0.9464)$ (20%), $y = 467.54x - 1326.7 (R^2 = 0.9353)$ (30%)。可见, 随着鱼糜添加量的增加, 淀粉糊化速率下降, 且随着加热的进行, 不同鲢鱼糜添加量的面团中淀粉的糊化速率趋向于一致。添加鲢鱼糜可使小麦淀粉的糊化过程较为缓和, 这是由于鲢鱼糜的添加增加了样品中蛋白质的含量, 而在加热过程中蛋白凝胶变性形成网状结构限制了面团中水分的迁移。淀粉的糊化反应必须有水分的参与, 蛋白质对水分迁移的限制延长了淀粉与水结合反应糊化的时间^[21]。

2.4 添加鲑鱼糜对样品糊化活化能的影响

活化能反应了面团中淀粉糊化的难易程度。根据方程(6)可得到,不同鱼糜含量样品中淀粉糊化所需活化能,不含鲑鱼糜的纯小麦粉面团糊化所需活化能最高(113.54 kJ/mol),随着鱼糜添加量的增加,所需活化能呈下降趋势(图 6)。这是由于随着鱼糜含量的增加,单位体积样品中淀粉的含量降低,反应物浓度的下降减少了单位体积中需活化分子的数目,从而减少有效碰撞,单位质量样品糊化所需的能量也相应减少。因此,鲑鱼糜的添加减少了样品糊化所需的能量。

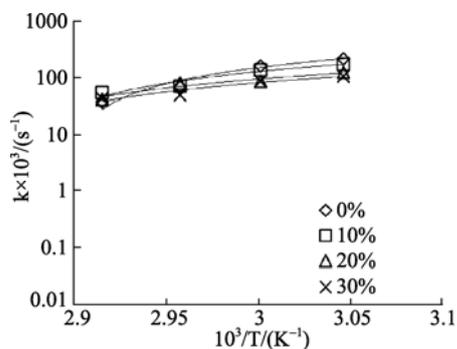


图 5 鱼糜面团微波糊化的阿列纽斯图

Fig. 5 Arrhenius plots for gelation rate of surimi-wheat flour dough

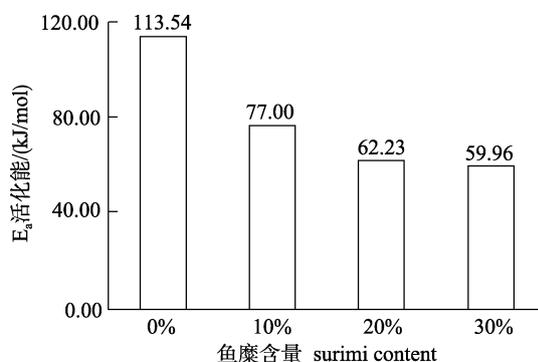


图 6 鱼糜对面团微波糊化活化能的影响

Fig. 6 Influence of surimi on activation energy of wheat flour dough during microwave heating

3 结论

在 2 450 MHz 微波加热过程中,圆柱体面团样品的加热均匀性比长方体样品的好,小尺寸样品具有比大尺寸样品更好的均匀性。随着样品温度升高,面团的介电常数和介电损失率有下降趋势。添加鲑鱼糜改善了面团样品在电磁场中的加

热均匀性。在微波糊化过程中,淀粉的糊化速率随升温下降。添加鲑鱼糜降低了面团中淀粉的糊化速率,这是由于鲑鱼糜的添加增加了样品中的蛋白含量,加热过程中蛋白形成网状结构限制了水分的迁移,延迟了淀粉的糊化反应。在面团中添加鲑鱼糜使样品的糊化活化能降低,即样品糊化所需要的能量减少。

参考文献:

- [1] Saul N K, Brooklyn N Y, Donovan D J, *et al.* Process of making quick-cooking pasta: U.S. 3138462[P]. 1964-06-23.
- [2] Murakami S, Kokeguchi S, Takahashi H, *et al.* Non-fried instant cooking dry noodle: U.S.4370352[P]. 1983-01-25.
- [3] Horner L W, Sewell N J. Process for making instant cooking noodle products: U.S.4783339[P]. 1988-09-08.
- [4] 赵凯. 淀粉非化学改性技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] Xue C F, Saki N, Fukuoka M. Use of microwave heating to control the degree of starchgelatinization in noodles[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(3): 357-362.
- [6] 徐树来, 郑先哲. 食品微波加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 18.
- [7] Mudgett R E. Microwave properties and heating characteristics of foods[J]. Food Technology, 1986, 40(6): 84-93.
- [8] 罗志刚, 于淑娟, 杨连生. 微波场对小麦淀粉性质的影响[J]. 化学工报, 2007, 58(11): 2871-2875.
- [9] 罗志刚, 扶雄, 罗发兴, 等. 微波辐射下蜡质玉米淀粉性质的变化[J]. 华南理工大学学报, 2007(4): 35-38.
- [10] 罗志刚. 微波对马铃薯淀粉性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007(6): 50-52.
- [11] 扶雄, 罗志刚, 许晓玲, 等. 微波对玉米淀粉性质影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 5: 36-38.
- [12] Lewandowicz G, Fornal J, Walkowski A. Effect of microwave radiation on potato and tapioca starches[J]. Carbohydrate Polymers, 1997, 34: 213-220.
- [13] 沈晓盛, 王锡昌, 王颖, 等. 鱼面的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2004(2): 135-137.
- [14] 林向阳, 苏德福. 鱼面生产新工艺[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2002, 30(z1): 755-757.
- [15] 陈洪林. 一种鱼面及其生产方法: 中国, CN 1656902A[P]. 2005-08-24.
- [16] 卢建中. 一种鱼面及其生产方法: 中国, CN 101011164 A[P]. 2007-08-08.
- [17] 胡秋波. 鱼面及其生产方法: 中国, CN 101243845A [P]. 2008-08-20.
- [18] Xue C F, Saki N, Fukuoka M. Prediction of the degree

- of starch gelatinization in wheat flour dough during microwave heating[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 97(1): 40–45.
- [19] Decereau R V, Peterson R A. *Microwave Process Engineering*[M]. Ellis Horwood: Chichester(UK), 1986.
- [20] Umbach S L, Davis E A, Gordon J, *et al.* Water self-diffusion coefficients and dielectric properties determined for starch-gluten-water mixtures heated by microwave and conventional methods[J]. *Cereal Chemistry*, 1992, 69(6): 637–642.
- [21] Wang Y, Jin Y Z, Cheng Y D. Effect of adding silver carp surimi on gelatinization characteristics of wheat flour dough during microwave heating[J]. *Advanced Materials Research*, 2012: 1382–1388.

Study of the gelatinization properties of mixtures composed of silver carp surimi and wheat flour during microwave heating

WANG Yi, CHENG Yu-dong*, JIN Yin-zhe

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The aim of this work was to study the effect of adding silver carp surimi on dielectric properties and gelatinization characteristics of wheat flour heated by 150 W microwave oven operating at 2 450 MHz. Wheat flour and silver carp surimi were mixed in various proportions (10:0, 9:1, 8:2, and 7:3) at moisture content of 38 wt.% with 2 wt.% salt. Then, the mixtures were formed to three different sizes and two different shapes to investigate the effect of geometry on uniformity of temperature distribution under microwave heating. The dielectric properties of silver carp surimi-wheat flour dough were detected by the open-ended coaxial probe method. Differential scanning calorimeter (DSC) was conducted to determine the extent of gelatinization of wheat starch. It is observed that the uniformity of temperature distribution for cylindrical-shaped pieces of dough was better than cuboid ones and the smaller ones were better than bigger ones. When temperature increased, the dielectric constants and loss factors of all dough tend to decrease. As silver carp surimi was added, the uniformity of temperature distribution was improved, however, the activation energy of sample decreased. The gelatinization rate of starch decreased with temperature rise and addition of silver carp surimi as a result of interaction of surimi and water.

Key words: silver carp; surimi; microwave heating; gelatinization; dielectric properties; activation energy

Corresponding author: CHENG Yu-dong. E-mail: ydcheng@shou.edu.cn